التجربة 1.1...

اختبار تحديد الرطوبة الطبيعية
Laboratory Determination of Moisture Content of Soil
(ASTM-D 2216- 71)

1.1.1 تعريف: Definition

الرطوبة الطبيعية هي النسبة المئوية لوزن الماء الموجود في عينة من التربة إلى وزن هذه العينة جافة.

2.1.1 الغاية من التجربة: Scope

هو تحديد المحتوى المائي (الرطوبة الطبيعية).

3.1.1 الأجهزة المستخدمة: Apparatus

1 ـ فرن تجفيف كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند 105 - 110 م°.
2 ـ ميزان حساس بدقة 0.01 غرام.
3 ـ مجموعة علب من الألمنيوم أو أي معدن مقاوم للصدأ والتآكل أو التحلل نتيجة تكرار عملية التسخين والتبريد. لهذه العلب أغطية محكمه لمنع تسرب الرطوبة من عينة التربة أو امتصاصها للرطوبة من الجو.

الشكل 1.1 ـ ميزان حساس لقياس الرطوبة مع جفنة تحوي عينة من التربة.

4.1.1 الطريقة: Method

1 ـ توزن العلب وهي فارغة وجافة ونظيفة مع الغطاء (m_1).
2 ـ نضع كمية معينة من التربة في الوعاء و نزن التربة الرطبة مع الوعاء وهي مغطاة (m_2).
حيث يؤخذ ثلاثون غراماً من التربة الناعمة، أو حوالي 300 غراماً من التربة المخلوطة أو 3 كغ من التربة الخشنة، وتوضع وهي مفككة في العلبة ذات المقياس المناسب، وتغطى لمنع تسرب الرطوبة وتوزن العلبة بعد ذلك بدقة 0.1 غرام.
3 ـ يزال غطاء العلبة وتوضع العينة في فرن درجة حرارته 105 – 110 م لمدة 24 ساعة .
إذا احتوت التربة على نسبة من الجص أو الجير، فلا يجوز أن تتجاوز درجة حرارة التجفيف 80 درجة مئوية. حيث يمكن أن يستغرق التجفيف مدة أكثر من 24 ساعة. كما يمكن اعتبار أن العينة قد جففت إذا كان الفرق بين وزنيها في مرتين متتاليتين يفصل بينهما 4 ساعات لا يزيد عن 0.1%
4 ـ تنقل العلبة بمحتوياتها من الفرن وتغطى بالغطاء حتى تبرد.
5 ـ توزن العلبة مغطاة بمحتوياتها من التربة المجففة (m_3).

5.1.1 الحسابات: Calculations

يتم حساب النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة للعينة منسوب الى الوزن الجاف لها من المعادلة التالية:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

6.1.1 تسجيل النتائج: Results

تسجل النتائج في الجدول رقم 1.1.1 ثم تحسب النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة لأقرب عددين.

المشـروع: رقم العينـة :
المـوقع : عمق العينـة:
تاريخ أخذ العينة: وصف التربة:

جدول رقم (1.1) نتائج اختبار تعيين محتوى الرطوبة للتربة

رقم العينة					
رقم العلبة					
وزن العلبة فارغة (m_1) غرام					
وزن العلبة + وزن العينة رطبة (m_2) غرام					
وزن العلبة + وزن العينة جافة (m_3) غرام					
وزن الماء ($m_2 - m_3$) غرام					
وزن العينة جافة ($m_3 - m_1$) غرام					
محتوى الرطوبة $w = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \times 100$					

التجربة 2.1

اختبار تحديد الوزن النوعي
Standard Method of Test for Specific Gravity of Soils
(ASTM D - 854- 92)

1.2.1 تعريف: Definition

الـوزن النوعـي هـو الكثافة الوسطية لمنيرالات الوسط الصلب من التربة، حيث تحسب بقسمة الوزن الجاف للحبيـبات مقسوماً على حجم هذه الحبيبات. أو هو النسبة بين وزن كمية معينة من حبيبات التربة الجافة، إلى وزن نفس الحجم من ماء مقطر عند درجة حرارة 20 م°.

2.2.1 الغاية من الاختبار: Scope

إن الغايـة من هذا الاختبار هي تعيين الوزن النوعي لحبيبات التربة، والذي يعتبر من القيم الهامة التي يجب تعيينها بدقـة، نظـراً لأنـه يسـتخدم فـي حسـابات مخبرية عديـدة مـثل الـتدرج الحبـي بالترسـيب، معامل المسـامية وخـلاف ذلـك مـن الموضوعات الهامة. تتراوح قيم الوزن النوعي لحبيبات التربة عادة بين 2.6 إلى 2.9 غ/سم^3. ويجب أن تكون عينة التربة التي يجرى عليها الاختبار مماثلة للحقيقة قدر الإمكان.

عند إجراء الاختبار يجب التأكد من أن التربة لا تحوي على أكثر من 10% من حبيبات التربة ذات القطر الأكبر من 40 مم. أما في حال احتوائها على نسبة أكبر من 10% فيجب تكسير الحبيبات الكبيرة.

هناك طريقتان لإجراء هذا الاختبار كما يلي:

1 ـ تعيين الوزن النوعي لجميع حبيبات التربة

2 ـ تعيين الوزن النوعي لحبيبات التربة الناعمة فقط والتي لها قطر 2 ملم وأقل.

3.2.1 تعيين الوزن النوعي لجميع حبيبات التربة: Specific Gravity

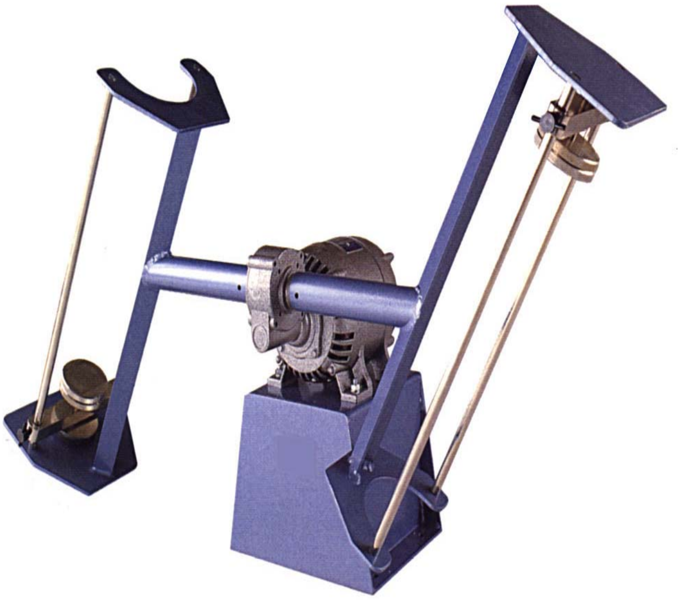
1.3.2.1 الجهاز:

1 ـ وعاء زجاجي أسطواني سعة 1000 سم^3 بسدادة من المطاط كما في الشكل 1.2

2 ـ مقلب للوعاء الزجاجي الأسطواني رأساً على عقب. وبمعدل 50 مرة في الدقيقة كما في الشكل 2.2.

3 ـ ميزان حساس تبلغ دقته 0.2 غرام.

الشكل 1.2 ـ أوعية زجاجية أسطوانية سعة 1000 سم^3 مع سدادات مطاطية.



الشكل 2.2 ـ المُقَلب الميكانيكي

4 ـ ميزان حرارة بدقة 1 ° م.
5 ـ فرن كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند 105 ـ 110 ° م.
6 ـ قارورة غسيل من البلاستيك بها ماء مقطر.
7 ـ ميقاتية.

2.3.2.1 الطريقة:

1 ـ يوزن حوالي 250 غرام من التربة الناعمة، أو 450 غرام من التربة الخليطة أو الخشنة الحبيبات التي تم تحضيرها بحيث تمثل التربة.
2 ـ تجفيف عينة التربة في الفرن عند درجة حرارة 105 - 110درجة مئوية.
ويجب تخفيض درجة حرارة التجفيف الى 80 درجة مئوية، في حال كون حبيبات التربة تتأثر بدرجة حرارة 105 ° م، كما في حالة التربة التي تحتوي على كمية من المواد العضوية أو الجص أو الجير.
3 ـ يوزن الوعاء الأسطواني الزجاجي مع السدادة وهو جاف بدقة 0.2 غرام (m_1) .
4 ـ يوزن حوالي 200 غرام من التربة الناعمة الجافة، أو 400 غرام من التربة الخليطة أو الخشنة الحبيبات ثم توضع في الوعاء الزجاجي الأسطواني، حيث يوزن الوعاء بالسدادة وفيه التربة الجافة (m_2).
5 ـ يوضع حوالي 500 سم^3 من الماء المقطر في الوعاء الزجاجي الأسطواني. ويترك حتى يأخذ الخليط درجة حرارة المخبر.
6 ـ توضع السدادة فوق فوهة الوعاء الزجاجي الأسطواني، ثم يقلّب رأساً على عقب عدة مرات حتى يصير الخليط متجانساً، (تتم عملية الخلط هذه مباشرة بعد وضع العينة في حالة التربة الناعمة، بينما تترك العينة حوالي 4 ساعات في حالة التربة الخليطة و الخشنة الحبيبات ثم تترك عملية التقليب بعد ذلك). ثم يوضع الوعاء الزجاجي الاسطواني وما يحتويه من تربة في الهزاز الآلي، ويقلب رأساً على عقب لمدة نصف ساعة تقريباً حتى يخرج جميع الهواء الموجود داخل العينة .
7 ـ يملأ الوعاء الزجاجي الأسطواني حتى علامة 1000 سم^3 بالماء المقطر ،ويترك حتى يأخذ درجة حرارة المخبر ثم يوزن بالسدادة بما فيها من ماء وتربة (m_3).
8 ـ يفرغ الوعاء الزجاجي الاسطواني من المحلول، وينظف جيداً، ويملأ بالماء المقطر حتى علامة 1000 سم^3، ويترك الوعاء الزجاجي الاسطواني حتى يكتسب والماء الذي بداخله درجة حرارة المخبر. يوزن الوعاء بالسدادة و الماء داخله بدقة 0.2 غرام (m_4). في حالة نقص منسوب الماء، في الوعاء الزجاجي الأسطواني، عن العلامة خلال فترة الانتظار لاكتسابه درجة حرارة المخبر للخطوتين (7) و (8)، يصب الماء المقطر حتى العلامة العليا ثم يتم الوزن.
9 ـ تكرر الخطوات (3) و (8) على عينتين أخرتين من نفس التربة، وتسجل النتائج في الجدول رقم 1.1.
إذا كانت درجة حرارة الغرفة مخالفة لدرجة 20 مئوية، يحسب الوزن النوعي للتربة عند درجة الحرارة المسجلة، ثم يعدّل لدرجة 20 م باستخدام الجدول رقم 2.1

الجدول 1.2.1 ـ الوزن النوعي للماء عند درجات حرارة مختلفة

درجة الحرارة(مئوية)	الوزن النوعي غ/ سم^3	درجة الحرارة (درجة مئوية)	الوزن النوعي غ/ سم^3	درجة الحرارة (درجة مئوية)	الوزن النوعي غ/ سم^3
4	1	18	0.998623	32	0.995054
5	0.99992	19	0.998433	33	0.994731
6	0.999968	20	0.998232	34	0.994399
7	0.999930	21	0.998021	35	0.994059
8	0.999876	22	0.997799	36	0.993712
9	0.999809	23	0.997567	37	0.993357
10	0.999728	24	0.997326	38	0.992994
11	0.999633	25	0.997074	39	0.992623
12	0.999525	26	0.996813	40	0.992246
13	0.999404	27	0.996542	41	0.991860
14	0.999271	28	0.996262	42	0.991470
15	0.999127	29	0.995974	43	0.991070
16	0.998970	30	0.995676	44	0.990660
17	0.998802	31	0.995369	45	0.990240

3.3.2.1 الحسابات:

يحسب الوزن النوعي لحبيبات التربة (γ_S) عند درجة حرارة 20 م^o من العلاقة الآتية:

$$\gamma_s = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_1) + (m_3 - m_2)}$$

يؤخذ متوسط ثلاثة قيم للعينات الثلاثة فتكون القيمة المتوسطة هي الوزن النوعي لحبيبات التربة.
وبما أن الحرارة يمكن أن تؤثر على النتائج فيمكن كتابة الصيغة على النحو التالي:

$$\gamma_s = \gamma'_s \frac{\gamma_{wt}}{\gamma_{sw\ 20}}$$

حيث γ'_s الوزن النوعي عند درجة حرارة 20 مئوية
γ_s ـ الوزن النوعي عند درجة حرارة ما (t).
γ_{wt} ـ الوزن النوعي للماء عند درجة حرارة (t).
γ_{sw20} ـ الوزن النوعي للماء عند درجة حرارة 20 مئوية.

4.3.2.1 تسجيل النتائج:

تسجل القيمة المتوسطة للوزن النوعي للتربة لأقرب رقمين عشريين.

المشـروع: رقم العينـة:
المـوقع: عمق العينـة:
رقم العينة: وصف التربة:

الجدول 2.2.1 ـ نتائج اختبار تعيين الوزن النوعي

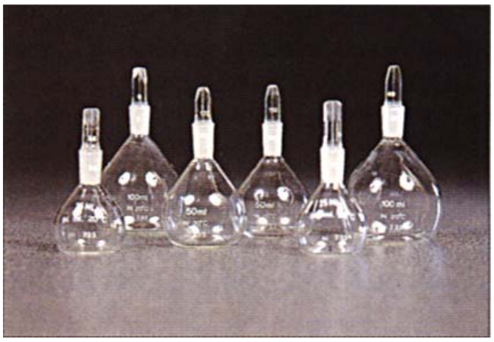
رقم العينة	1	2	3
وزن الوعاء الزجاجي الأسطواني والسداد(m1) غرام وزن الوعاء الزجاجي الأسطواني والسدادة + التربة (m2) غرام وزن الوعاء الزجاجي الأسطواني والسدادة + التربة + الماء (m3) غرام وزن الوعاء الزجاجي الأسطواني والسدادة + الماء (m4) غرام الوزن النوعي (γ_S)، $\gamma_s = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) + (m_3 - m_2)}$			
القيمة المتوسطة (γ_S)			

4.2.1 تعيين الوزن النوعي للتربة الناعمة: Specific Gravity

يستخدم هذا الاختبار لتحديد الوزن النوعي لحبيبات التربة ذات قطر 2 مم أو أقل.

1.4.2.1 الجهاز:

1 ـ زجاجة للتكثيف ذات سعة 50 سم^3 بسدادة مثقوبة كما في الشكل 3.2



الشكل 3.2 ـ زجاجات بسعة 50 سم 3

2 ـ حوض مائي يمكن تثبيت درجة حرارته عند20 درجة مئوية.
3 ـ مجفف مزود في أعلى غطائه بصنبور تفريغ.
4 ـ مفرغ هوائي.
5 ـ فرن كهربائي يمكن تثبيت درجة حرارته عند درجة حرارة 105 - 110 درجة مئوية.
6 ـ ميزان حساس تبلغ دقته 0.001 غرام كما في الشكل 4.2

الشكل 4.2 ويبيّن الميزان الحساس

7 ـ قارورة غسيل من البلاستيك بها ماء مقطر.
8 ـ قضيب زجاجي قطره حوالي 3 مم بطول 250 ملم.
9 ـ ميزان حرارة دقيق مقسم الى درجات مئوية.

2.4.2 الطريقة: Method

1 - تجفف زجاجة التكثيف ومعها السدادة في الفرن ثم تترك لتبرد وتوزن (m_1).

2 - يؤخذ حوالي 50 غرام من التربة، وتجفف داخل الفرن في 105 - 110 درجة مئوية، يجب تخفيض درجة حرارة التجفيف الى 80 درجة مئوية، في حالة التربة التي تحتوي على مواد عضوية أو الجص أو الجير.

3 - تترك التربة داخل المجفف لتبرد ثم يؤخذ منها 5 - 10 غرام وتوضع في زجاجة التكثيف. توزن الزجاجة والغطاء و بداخلها التربة (m_2).

4 - يسـكب فوق التربة داخل الزجاجة ماء مقطر ثم تقلب بواسطة القضيب الزجاجي. يجب أن يغسل داخل الزجاجة بكمية من الماء المقطر لإزالة التربة التي قد تكون عالقة به.
5 - توضع الزجاجة وبها التربة والماء وبدون السدادة، في المجفف الذي يتم تفريغه من الهواء بالتدريج. الغرض من هذه الخطوة هو إخراج الهواء الموجود داخل مسامات التربة وإحلال الماء مكانه. ولذا يجب أن تستمر هذه العملية حتى يخرج جميع الهواء الموجود داخل العينة، يجب أن يراعى أن تكون عملية التفريغ هذه غير مصحوبة بفوران شديد في التربة والذي يمكن أن ينتج عنه فقد لبعض حبيبات التربة .
6 - تنقل الزجاجة من المجفف، وتكمل بالماء المقطر، ثم تغطى بالسدادة فيخرج الماء الزائد من ثقب السدادة، ثم توضع في الحوض المائي في درجة حرارة 20 ^{o} م، حتى يكتسب المحلول داخل الزجاجة درجة حرارة الحوض المائي.
7 - تنقل الزجاجة من الحوض المائي وتكمل بماء مقطر ، في حالة نقص الماء بها للتغير في الحرارة، ثم توضع بعد ذلك في الحوض المائي ثابت الحرارة، لكي يكتسب الخليط درجة حرارة الحوض. وتجرى هذه العملية عدة مرات حتى يتم التأكد من أن الزجاجة مملوءة حتى أعلى الثقب في السدادة.
8 - تجفف الزجاجة من الخارج بواسطة منشفة وتوزن بدقة 0.001 غرام (m_3).
9 - تفرغ الزجاجة من الخليط، وتغسل جيداً، وتملأ بالماء المقطر الى أعلى الثقب في السدادة، ثم توضع في الحوض المائي في درجة حرارة 20 ^{o} م، ليكتسب الماء داخل الزجاجة درجة حرارة الحوض.
10 - تنقل الزجاجة بالسدادة من الحوض، فإذا لوحظ أي نقص في الماء، تكمل وتوضع مرة أخرى في الحوض وتكرر هذه العملية حتى لا يلاحظ أي نقص في ماء الزجاجة. تجفف الزجاجة بالمنشفة وتوزن بالسدادة الى أقرب 0.001 غرام (m_4).
11 - تكرر الخطوات من (2) إلى (10) على عينتين أخريين من نفس التربة وتسجل النتائج في جدول رقم (4).

3.4.2.1 الحسابات:

تستخدم العلاقة (5) في حساب الوزن النوعي لحبيبات التربة ويكون الوزن النوعي للتربة هو القيمة المتوسطة للعينات الثلاثة المختبرة.

4.4.2.1 تسجيل النتائج:

تسجل القيمة المتوسطة للوزن النوعي للتربة لأقرب رقمين عشريين، وبتطبيق العلاقة التالية:

$$\gamma_s = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) + (m_3 - m_2)}$$

المشـروع: رقم العينـة:
المـوقع : عمق العينـة:
رقم العينة : وصف التربة:

جدول ـ 3.2.1 نتائج اختبار تعيين الوزن النوعي للتربة الناعمة

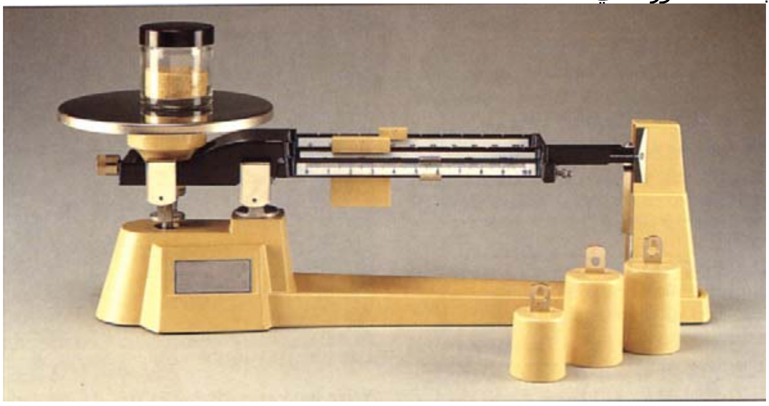
رقم العينة	1	2	3
وزن زجاجة التكثيف فارغة بالسدادة(m_1) غرام وزن الوعاء الزجاجي الاسطواني زجاجة التكثيف + التربة (m_2) غرام وزن زجاجة التكثيف + التربة + الماء (m_3) غرام وزن زجاجة التكثيف + الماء (m_4) غرام الوزن النوعي (γ_s) $\gamma_s = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) + (m_3 - m_2)}$			
القيمة المتوسطة (γ_s)			

ـ ملاحظة:
يتوجب تصحيح درجة الحرارة كما ورد في الفقرة 2.3.2.1.

التجربة 3.1 ...

اختبار تحديد الوزن الحجمي
Unit weight

1.3.1 التعريف: Definition
هو وزن وحدة الحجم من التربة، يرمز له بـ (γ) وحدة قياسة هي (غ / سم ^{3}) أو (طن / م ^{3}) تتوقف قيمة الوزن الحجمي في التربة على تركيبها المنيرالي ونسبة الرطوبة ومقدار مساميتها.
2.3.1 تعيينه: Selected
يتم إجراء اختبار الوزن الحجمي على عينات من التربة ذات حجم مناسب وذلك للحصول على نتائج دقيقة.
3.3.1 الأجهزة المستخدمة: Apparatus
1 - وعاء أسطواني من المعدن أو البلاستيك غير نافذ للماء.
2 - ميزان حساس بدقة 0.001 غرام.
3 - حامل مع صحن متصل بالميزان كما هو مبين في الشكل 1.3، ويجوز استخدام أي تركيبة أخرى تمكن من إيجاد وزن العينة المغمورة في الماء.



الشكل 1.3 ـ ميزان يمكن تدلية العينة من على ذراعه لوزنها تحت الماء

4 - شمع (برافين).
5 - أداة تسخين مناسبة لصهر الشمع.
4.3.1 ضبط الجهاز: Calibration of apparatus
يوضع الميزان بحيث يكون حامل الصحن فوق الوعاء الأسطواني، على أن تترك مسافة قدرها 30 سم على الأقل بينهما. يملأ الوعاء الأسطواني بالماء لارتفاع أدنى بحدود 8 سم من أعلى الوعاء.
يوضع الوعاء أسفل الميزان حيث يضبط وضع حامل الصحن بحيث تصبح الكفة معلقة فوق الماء بدون لمس جوانب أو قاع الوعاء. يجب التأكد أن كل العينات التي سيتم اختبارها ستكون مغمورة تماماً بالماء عندما تكون فوق الكفة.
5.3.1 الطريقة: Method
1 - تجهز عينة التربة الى حجم مناسب (10 سم في كل اتجاه) ثم يتم وزنها.
2 - تغطى العينة بالبرافين تماماً وذلك بإسقاطها فيه لمرات متتابعة، يجب ملاحظة عدم تكون فقاعات هواء أسفل طبقة الشمع ،ويراعى أن يكون الشمع في درجة حرارة تكفي لانصهاره فقط. وتترك العينة المبرفنة لتبرد ثم يتم وزنها . يحسب وزن البرافين المستخدم (m) من العلاقة:

$$m = m_w - mf$$

حيث:
m_w ـ وزن العينة المبرفنة.
mf ـ وزن العينة قبل البرفنة.
3 ـ تعلق العينة على الكفة ضمن الماء ويؤخذ وزنها في هذا الوضع.
4 ـ ترفع العينة من الماء ويتم تعيين الوزن الحجمي لها.
6.3.1 الحسابات: Calculations
يتم حساب حجم العينة من العلاقة التالية:

$$v_s = \frac{m}{\gamma_B} - (m_w - m_g)$$

حيث :

m_w ـ وزن العينة المبرفنة بالهواء.

m_g ـ وزن العينة مبرفنة وهي مغمورة بالماء.

M ـ وزن البرافين.

γ_B ـ كثافة البرافين.

تحسب كثافة التربة (γ) من العلاقة التالية:

$$\gamma = \frac{m_S}{v_s}$$

حيث:

m_s ـ وزن عينة التربة.

v_s ـ حجم عينة التربة.

تحسب الكثافة الجافة للتربة (γ_d) من العلاقة التالية:

$$\gamma_d = \frac{m_S}{w+1}$$

w ـ النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة.

يجرى الاختبار على ثلاثة عينات على الأقل ويتم أخذ وسطي الناتج. وتنظم النتائج في جدول التالي:

المشـروع: رقم العينـة:

المــوقع : عمق العينـة:

رقم العينة : وصف التربة:

الجدول 3.6.1 ـ نتائج اختبار تعيين الوزن الحجمي لكافة حبيبات التربة.

رقم العينة			
وزن العينة ـ (غ)			
وزن العينة مبرفنة ـ (غ)			
وزن العينة مبرفنة مغمورة بالماء ـ (غ)			
حجم العينة ـ (سم^3)			
الوزن الحجمي ـ (غ/ سم^3)			

التجربة 4.1 ...

التدرج الحبي باستخدام المناخل
للحبات ذات القطر الأكبر من 75 ميكرون
Grain Size Analysis for the Soil Grains larger than 75 μm
(Retained on the No. 200 sieve)
(ASTM-D 422-63)

1.4.1 الغرض من الاختبار: scope

الغرض من الاختبار هو تعيين تدرج حبيبات التربة حتى مقاس الرمل الناعم، ويتم إجراء الاختبار بطريقة الغسيل على المناخل، أو بطريقة النخل الجاف. كما يمكن من الاختبار الحصول على نسبة مكونات الحبيبات الناعمة (الغضار والسلت معاً).

2.4.1 طريقة الغسيل على المناخل: Saves Washing

يمكن لأنواع التربة التي تحتوي على نسبة قليلة من مقاس البحص في حدود 10% ، أن تدمج عمليتا غسيل التربة للتخلص من الحبيبات الناعمة وعملية نخل الحبيبات الخشنة على المناخل المختلفة في عملية واحدة. في هذه الحالة يصبح تقسيم العينة الى أقسام فرعية أثناء الاختبار لتلافي زيادة كمية التربة على المناخل عما يجب غير ممكن التحقيق.

1.2.4.1 الأجهزة:

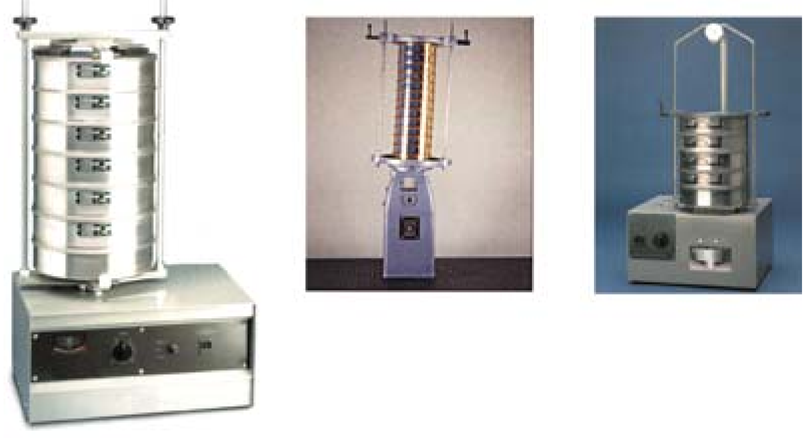
1 - مجموعة مناخل قياسية عالمية تكون أرقامها وفتحاتها كما في الجدول رقم 1.4.1 تستخدم مع مجموعة المناخل المناسبة، أواني استقبال للحبيبات المارة من المناخل. ويجب أن تغطي مقاسات المناخل المختارة المجال الذي تتراوح فيه مقاسات حبيبات التربة، حيث يلاحظ هنا أنه لا داعي لاستخدام جميع المقاسات لكل اختبار، وعندما يراد إجراء عدد كبير من التجارب فمن الأفضل استخدام مجموعتين من المناخل أحدهما للنخل بالغسيل والأخرى لنخل التربة الجافة.

الجدول 1.4.1 ـ أبعاد فتحات المناخل حسب نظام ASTM

3 in = (75 mm)	No. 10 (2.00 mm)
2 in =(50 mm)	No. 20 (850 μm)
1 ½-in = 37.5 mm	No. 40 (425 μm)
1 in = (25.0 mm)	No. 60(250 μm)
3 / 4 in (19 mm) ¾	No.140 (106 μm)
3 / 8 in (9.5 mm)	No. 200 (75 μm)
No.4 (4.75 mm)	

الشكل 1.4 يبين بعض المناخل

2 - ميزان حساس تبلغ دقته 0.5 غرام.
3 - ميزان حساس تبلغ دقته 0.01 غرام.
4 - مجزئ للعينات.
5 - فرن كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند 105 - 110 م.
6 - ستة جفنات لقياس الرطوبة بمقياس مناسب، قطر حوالي 300 مم وعمق 40 مم.
7 - صينيتان أو أكثر كتيمتان للماء، أو دلو سعة حوالي 12 ليتر (الأبعاد المناسبة للصينية في حدود 500 إلى 100 مم طول وعرض 800 إلى 150 مم عمق).
8 - مجرفة (المقاس المناسب بطول 200 مم وعرض 100 مم)، أو كأس كبيرة سعة حوالي 0.5 ليتر.



9 - فرشاة للمناخل معدنية الأسلاك أو ما يماثلها.
10 -محلول مبعثر مثل هكساميتا فوسفات الصوديوم أو ترايبولي فوسفات الصوديوم للتربة الجيرية والقلوية.
الشكل 2.4 ـ الهزاز الميكانيكي
11 -أنابيب مطاط قطر 6 مم.
12 - هزاز مناخل ميكانيكي كما في الشكل 2.4.

2.2.4.1 الطريقة:

1 - تؤخذ عينة من التربة المجففة بالفرن والتي تم تحضيرها طبقاً لطريقة تحضير العينات المضطربة. وتوزن هذه العينة إلى أقرب 0.1% من وزنها الكلي (m_1).

عندما يراد فصل الجزء المكون من النواعم، فيحتفظ بعينة ثانية من جهاز التقسيم وتجرى عليها تجربة التدرج للترب الناعمة، أي اختبار تحديد التدرج الحبي بالترسيب. ويراعى الجدول التالي لاختيار الأوزان الدنيا لعينات التربة وفقاً للقطر الاسمي الأعظمي للحبيبات:

الجدول 2.4.1 ـ الأوزان الدنيا لعينات التربة وفقاً للقطر الاسمي الأعظمي للحبيبات.

القطر الاسمي الأعظمي للحبيبات إنش	القطر الاسمي الأعظمي للحبيبات مم	الوزن الأدنى للعينة مم
$\frac{3}{8}$	9.5	500
$\frac{3}{4}$	19	1000
1	25.4	2000
$1\frac{1}{2}$	38.1	3000
2	50.8	4000
3	76.2	5000

2 - توضع العينة على المنخل مقاس فتحته 20 مم، مع ملاحظة فصل الحبيبات العالقة بالحبيبات ذات المقاس الأكبر من مقاس المنخل المذكور، باستخدام الفرشاة المشار إليها أعلاه. يمنع أثناء ذلك إزالة أي جزء من الحبيبات الكبيرة. ينخل الجزء المحجوز على المنخل مقاس فتحته 20 مم على مجموعة من

المناخل ذات فتحات أكبر وتوزن الكمية المتبقية على كل منخل وتسجل قيمها .يجب ملاحظة ألا يزيد الوزن الأقصى للتربة المتبقية على كل منخل في نهاية عملية النخل عن القيم الموضحة في الجدول رقم 3.4.1 فإذا ما زادت الكمية عن الكمية الواردة في الجدول، فيتم تقسيمها إلى أجزاء لا يتعدى وزن أي منها الوزن العائد للمنخل في الجدول المذكور.

3 - يوزن الجزء المار من المنخل مقاس فتحته 20 مم الى أقرب 0.1% من وزنها الكلي (m_2) ثم تقسم للحصول على جزء وزنه حوالي 2 كيلوغرام، ويوزن هذا الجزء الى أقرب 0.1% من وزنه الكلي (m_3).

4 - يفرد الجزء الأخير في الصينية الكبيرة أو يوضع في الدلو ويغطى بالماء.

5 - يضاف محلول مبعثر مناسب بمعدل 2 غرام لكل ليتر من المياه. وتقلب التربة جيداً وتترك لمدة ساعة بتكرار التقليب على فترات متناوبة.

الجدول 3.4.1 ـ الوزن الأقصى للتربة المسموح من التربة على المناخل.

مقاس فتحة المنخل مم	الكمية المتبقية غ	الوزن الأقصى المسموح بحجزه بالكيلوغرام من أجل قطرين مختلفين للمناخل. قطر المنخل 30 سم	قطر المنخل 45 سم	مقاس فتحة المنخل مم
2.36	200	4.5	10	50
1.18	100	3.5	8	40
0.6	75	2	4	20
0.425	75	1	2	20
0.30	50	0.5	1	4.75
0.212	50			
0.15	40			
0.75	25			
0.063	25			

6 - تغسل التربة على أجزاء خلال المنخل مقاس فتحته 2.36 مم موضوع على منخل مقاس فتحته 0.063 مم وتصرف المياه الحاملة للحبيبات الأدق من مقاس 0.063 مم، والتي تحتوي الحبيبات الناعمة (سيلت وغضار). يستمر الغسيل حتى يلاحظ أن المياه المارة من المنخل مقاس 0.063 مم صافية. وتنقل جميع الحبيبات المحجوزة على المنخلين الى صواني أو جفنات قياس رطوبة. ويجب ملاحظة ألا تتعدى أي من كمية التربة المحجوزة على المنخل مقاس فتحته 0.063 مم وزن قدره 150 غرام. كما يجب ملاحظة ألا تكون أي من كمية التربة أو المياه أثناء الغسيل كبيرة بالنسبة لسعة المنخل.

7 - عندما يتم غسيل العينة بأكملها تجفف التربة المحجوزة في فرن درجة حرارته 105 - 110 م.

8 - ينخل الجزء المحجوز على منخل مقاس فتحته 2.36 مم والذي تم تجفيفه في الفرن على مناخل مناسبة حتى منخل مقاس فتحته 4.75 مم وتوزن الكمية المحجوزة على كل منخل وتسجل.

9 - اذا كان الجزء المار من المنخل مقاس فتحته 4.75 مم صغيراً أي لا يتعدى وزنه 150 غرام فيمكن النخل حتى منخل مقاس فتحته 0.063 مم توزن الكمية المحجوزة على كل منخل وتسجل. يمكن دمج هذه الخطوات في عملية واحدة عند أجراء التجربة بهزاز ميكانيكي. يجب التأكد من أن عملية النخل تامة والزمن الأدنى لذلك عندها لا يقل عن 10 دقائق.

10 - إذا كان الجزء المار من منخل مقاس 4.75 مم كبيراً أي أكبر من 150 غرام، فيوزن هذا الجزء أولاً ويسجل (m_4)، ثم يقسم بحيث نحصل على جزء يتراوح وزنه من 100 غرام إلى 150 غرام. كما يوزن هذا الجزء ويسجل وزنه (m_5)، ثم ينخل على مناخل مناسبة حتى منخل مقاس فتحته 0.063 مم. وتوزن وتسجل أوزان الأجزاء المتبقية على كل منخل.

11 - يحسب الجزء المار من منخل مقاس فتحته 0.063 مم بالطرح، أي إضافة الأوزان المحجوزة على كل منخل مع الأخذ بعين الاعتبار أي تقسيم لأي جزء من العينة، ثم الطرح من الوزن الكلي (m_1).

3.2.4.1 الحسابات: Calculations

1- بالنسبة للعينات التي تحتوي على حبيبات بأقطار أكبر من 20 مم. ويحسب الوزن المحجوز على كل منخل من مجموعة المناخل الكبيرة كنسبة مئوية من(m_1) كمثال لذلك:

النسبة المئوية للمحجوز على منخل مقاس فتحته 40 مم = P40:

$$P_{40} = \frac{m(40mm)}{m_1} \times 100$$

حيث: P_{40} ـ النسبة المئوية للمحجوز على المنخل 40 مم.

M ـ المحجوز على منخل فتحته 40 مم، (m_1) الوزن الكلي الجاف.

2 - تحسب الأوزان المحجوزة على مجموعة المناخل التي تتراوح مقاس فتحاتها من 20 إلى 4.75 مم كنسبة من m_2 ثم كنسبة مئوية من m_1 كمثال على ذلك:
النسبة المئوية للمحجوز على منخل مقاس فتحته 10 مم = P_{10}:

$$P_{10} = \frac{m_2 \times m_{(10\,mm)} \times 100}{m_1 \times m_2}$$

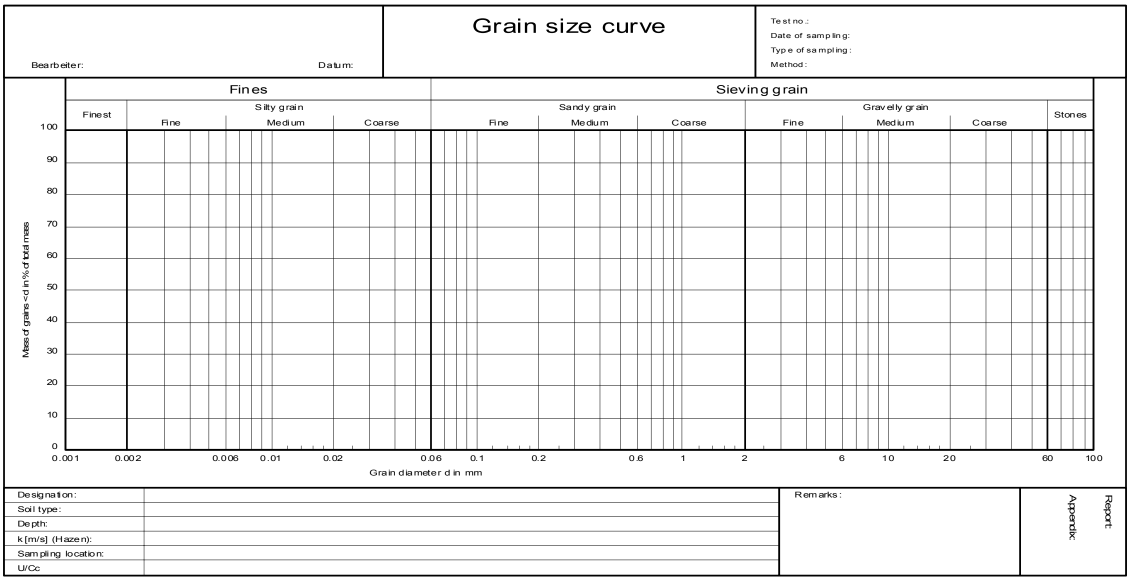
3 - تحسب الوزان المحجوزة على كل منخل من المناخل الأصغر من مقاس 4.75 مم كنسبة مئوية من (m_4) ثم كنسبة مئوية من (m_1) كمثال لذلك النسبة المئوية للمحجوز على منخل مقاس فتحته 0.3 مم = $P_{0.3}$

$$P_{0.3} = \frac{m_2 \times m_4 \times m_{(0.3mm)} \times 100}{m_1 \times m_2 \times m_5}$$

4 - تحسب النسبة الكلية للمار بالوزن لكل منخل.

4.2.4.1 تسجيل النتائج:

تسجل النتائج التي تم الحصول عليها على مخطط نصف لوغاريتمي من النمط الموضح بالشكل رقم 3.4 يمكن تسجيل النتائج في جدول يوضح نسب المار بالوزن لكل منخل من المناخل المستخدمة إلى أقرب 1% من كل وزن .



الشكل 3.4.1 ـ نموذج يتم تحميل مخطط التدرج الحبي عليه.

3.4.1 طريقة فرعية باستخدام النخل الجاف: Secondary Method Using Dry Savings

1.3.4.1 الغرض من الاختبار:

الغرض من هذا الاختبار، هو التعيين الكلي لتوزيع حبيبات التربة حتى مقاس الرمل الناعم. ولا تستخدم هذه الطريقة، إلا إذا تبين أن الاختبار يعطي نفس نتيجة طريقة الغسيل السابقة، فيما لو أجرينا التجربة على عينات من نفس الطبقة.

2.3.4.1 الأجهزة:

1 - مجموعة من مناخل قياسية عالمية تكون مقاساتها وفتحاتها كما في الجدول رقم 1.4.1. ويجب أن تشمل هذه المقاسات المجال الذي تتراوح فيه مقاسات حبيبات التربة وليس من الضروري استخدام جميع المناخل لكل اختبار.
2 - ميزان حساس تبلغ دقته 0.5 غرام.
3 - ميزان حساس تبلغ دقته 0.01 غرام.
4 - مقسم عينات.
5 - فرن كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند 105 - 110 م.
6 - فرشاة للمناخل.
7 - ستة صواني معدنية بمقياس مناسب قطر حوالي 300 مم وعمق 30 مم.

8 - ستة جفنات بخر بمقاس مناسب قطر حوالي 150 مم.
9 - مدَّق يدوي بنهاية كاوتشوك.
10 - مجرفة (المقاس المناسب بطول 200 مم وعرض 100 مم) أو كأس كبيرة سعة حوالي 0.5 لتر.
11 - هزاز مناخل ميكانيكي (اختياري).

3.3.4.1 الطريقة:

1 - تؤخذ عينة من التربة المجففة بالفرن، حسب طريقة تحضير العينات المضطربة وتوزن إلى اقرب 0.1 من وزنها الكلي (m_1).
2 - يوضع المنخل ذو المقاس الملائم لأكبر مقاس حبيبات متواجدة على صينية التجميع، وتوضع العينة عليه. إذا كان تجميع أكثر من منخل يعطي وزناً محجوزاً مناسباً، فيمكن النخل باستخدام هذه المناخل مجتمعة.
3 - يهز المنخل بحيث تتدحرج الحبيبات عليه بحركة غير منتظمة، ويمكن وضع أي حبيبات باليد لمعرفة ما إذا كانت ستَمُر من المنخل مع تجنب دفعها باليد لأجل ذلك.تنقل التربة المحجوزة إلى وعاء المدق لتخلط، ثم يعاد نخلها للتأكد من أن المحجوز على المنخل يتكون من حبيبات مفردة .توزن الكمية المحجوزة على المنخل.
4 - تنقل التربة المارة من المنخل والموجودة في آنية الاستقبال الى صينية معدنية. تجهز آنية الاستقبال مع المنخل ذي المقاس التالي. تنقل التربة من الصينية المعدنية إلى هذا المنخل بآنية، وتعاد الخطوة (3) إذا كان وزن التربة المار من منخل فتحته 20 مم أكبر من 2 كغ بمقدار ملحوظ فيجب تقسيم العينة للحصول على وزن حوالي 2 كغ، مع ملاحظة ذلك في الحسابات بالنسبة للعينة الكلية الصلبة.
تُعاد الخطوات (3) ، (4) لجميع المناخل المستخدمة. وفي حال توفر هزاز ميكانيكي فيمكن دمج هذه الخطوات في عملية واحدة. ويجب التأكد من أن عملية النخل تتم بزمن أدنى قدره 10 دقائق.
5 - اذا اصبح أي من المناخل محملاً أكثر مما يجب، يتم نخل الكمية على أجزاء لا تتعدى الأوزان المعطاة في الجدول رقم 3.

4.3.4.1 الحسابات:

تحسب نسبة المتبقي بالوزن على كل منخل، يمكن الحصول على نسبة المار من منخل مقاس فتحته 0.063 مم بالطرح، مع مقارنة ذلك بوزن المحجوز على صينية التجميع. تحسب نسبة المار من كل منخل بالوزن بالنسبة للعينة كلها.

5.3.4.1 تسجيل النتائج:

تبين النتائج التي تم الحصول عليها على مخطط نصف لوغاريتمي كالموضح بالشكل رقم 3.4.1 يمكن تسجيل النتائج في جدول يوضح نسب المار بالوزن من كل منخل من المناخل المستخدمة الى أقرب 1% من كل وزن. كما يسجل بأن التجربة أجريت بدون غسيل على ورقة النتائج.

المشروع: رقم العينة:
الموقع: عمق العينة:
رقم العينة : وصف التربة :
الوزن الكلي للعينة الجافة: طريقة النخل (بالغسيل ـ جاف)

الجدول رقم 4.4.1 ـ نتائج اختبار التدرج الحبي باستخدام المناخل

مقياس فتحة المنخل	الوزن المحجوز غ	الوزن الكلي المحجوز غ	نسبة المحجوز %	نسبة المار %	ملاحظات	أقصى وزن على المنخل غ
المجموع						

التجربة 5.1 ...

اختبار تعيين التدرج الحبي بالترسيب
للحبيبات المارة من المنخل رقم 200 باستخدام الهيدرومتر
Grain-Size Analysis for Size smaller then the No. 200
Sieve by the Hydrometer Method

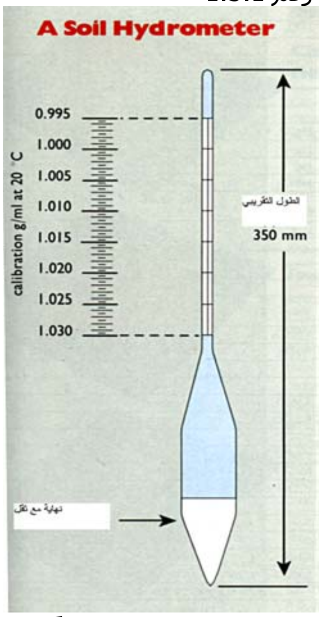
1.5.1 الغرض من الاختبار: Scope

الغرض من هذا الاختبار، هو التعيين الكمي لتدرج حبيبات التربة التي مقاسها أصغر من مقاس الرمل الناعم.

تعطي طريقة الهيدرومتر نتائج تعتبر دقيقة عملياً إذا أجريت بعناية . اذا كان قد سبق نخل العينة على المناخل، حتى منخل مقاس فتحته 0.063 مم فيجري الاختبار على جزء التربة المار من هذا المنخل. لا يطبق هذا الاختبار اذا كانت نسبة المار من التربة من منخل مقاس فتحته 0.063 مم أقل من 10%.

2.5.1 الأجهزة: Apparatus

1 ـ هيدرومتر من النوع المبين بالشكل رقم 1.5.1



الشكل رقم 1.5.1 ـ جهاز الهيدروميتر المستخدم عادةً لقياس كثافة محلول الماء ـ التربة

2 ـ يراعى أن تكون بصلة وساق الهيدروميتر مصنعة من مواد صلبة. يجب أن تكون هذه المواد مثبتة بمادة لاصقة بداخل البصلة ولا تتأثر بالحرارة حتى 80 درجة مئوية. إذا استخدم الزئبق في ذلك، فيجب أن يكون محصوراً بالجزء السفلي من الهيدروميتر، كما يجب أن تكون تأشيرات القياس على ساق الهيدروميتر مكتوبة بالحبر الأسود الدائم الوضوح، كما يجب أن يكون المقاس مستقيماً والعلامات عمودية على الهيدرومتر.

يجب أن يكون لكل من الساق والبصلة مقطعاً مستديراً، وأن يكون الاتصال بينهما متدرجاً وسطحهما أملس سهل التنظيف، ولا يسبب احتباس فقاعات هوائية. تكون تدريجات القياس كل 0.005. ويوصى باستخدام مقياس كالمبين في الشكل (1.5.1).

يعطي المقياس الكثافة (غرام/ سم^3) ويكون معايراً ليقرأ التدريجة 1.000 في الماء بدرجة حرارة 20 °م.

يعتبر أقصى خطأ مسموح به في المقياس هو ± علامة واحدة من المقياس .يجب أن يبين على الهيدرومتر وحدات المقياس، أي غرام/سم^3 في درجة حرارة 20 ° م وعلامة الصنع ورقم للتعريف.

3 ـ أسطوانتان زجاجيتان سعة 1000 سم^3 بمقطع منتظم قطره حوالي 70 مم وارتفاعه 330 مم.

4 ـ ميزان قياس حرارة بمجال من صفر إلى 50 درجة مئوية بدقة 0.5 درجة مئوية.

5 ـ هزاز ميكانيكي يمكنه الاحتفاظ بوزن 75 غرام من التربة معلقاً في 150 سم^3 من المياه.

6 ـ مناخل قياسية مقاس فتحاتها 2.36، 0.6، 0.212، 0.063 مم وصينية استقبال أو تجميع.

7 ـ ميزان حساس تبلغ دقته 0.01 غرام.

8 ـ فرن كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند 105 - 110 م°.
9 ـ ميقاتية.
10 ـ مجفف (المقاس المناسب قطر 200 - 250 مم) يحتوي على جيلاتين السيليكا.
11 ـ مسطرة قياس مقسمة الى سنتيمترات وملليمترات.
12 ـ أربعة جفنات قياس رطوبة (المقاس المناسب بقطر حوالي 150 مم).
13 ـ قارورة مخروطية واسعة الفتحة العلوية أو كوب مخروطي سعة 1000 سم^3.
14 ـ جهاز طرد مركزي يحتوي على زجاجات سعة 250 سم^3. ويعين الطرد المركزي كوسيلة للحصول على التربة بعد المعالجة باعتبارها أسرع وأسهل وسيلة. إذا لم يكن جهاز الطرد المذكور متوفراً، فيمكن ترشيح التربة بعد معالجتها ببيرو كسيد الهيدروجين باستخدام ورق ترشيح رقم (50). وبعد غسيل التربة جيداً بالمياه يمكن نقلها الى وعاء تبخر زجاجي على إن تجفف في الفرن.
وبعد أن تبرد التربة يمكن التحقق من وزنها ثم نقلها إلى قارورة لإجراء عملية البعثرة.
15 ـ زجاجات سعة 250 سم^3 .
16 ـ أسطوانة زجاجية مدرجة سعة 100 سم^3 .
17 ـ زجاجة غسيل بلاستيك تحتوي على ماء مقطر .
18 ـ قضيب زجاجي بطول 150- 200 مم وقطر 5 مم.
19 ـ حمام مائي يمكن ضبط درجة حرارته كما في الشكل 2.5.
20 ـ جهاز رج ميكانيكي.

الشكل 2.5.1 ـ الأسطوانة الزجاجية مع المحلول الغروي موضوعة بحوض تثبيت الحرارة.

3.5.1 المحاليل الكيماوية: Chemical Solvents

1 ـ محلول بيروكسيد الهيدروجينية.
2 - محلول هكساميتافوسفات الصوديوم:
يذاب 33 غرام من هكساميتافوسفات الصوديوم مع 7 غرام من كربونات الصوديوم في ماء مقطر لصنع 1 ليتر من المحلول.
مدة صلاحية هذا المحلول حوالي الشهر. ولذلك يجب تسجيل وقت التحضير على الزجاجة المحتوية عليه.
3 - محلول ترايبوليفوسفات الصوديوم للتربة الكلسية بواقع 15 سم^3 من محلول 5%.

4.5.1 معايرة الهيدرومتر:Calibration of hydrometer

1.4.5.1 حجم بصلة الهيدرومتر:

يمكن تعيين حجم بصلة الهيدرومتر (vh) بوضعه في مخبار سعة 1000 سم^3 به حوالي 800 سم^3 من المياه، ثم يحسب الفرق بين قراءة حجم المياه في المخبار قبل وبعد وضع الهيدرومتر، فيكون هذا الفرق هو حجم بصلة الهيدرومتر.

يمكن اعتبار حجم الهيدرومتر بواحدة سم^3 هو وزنه إلى لأقرب 0.1 غرام مع إهمال الخطأ الناشئ عن الغمر الجزئي لساق الهيدرومتر.

2.4.5.1 المعايرة:

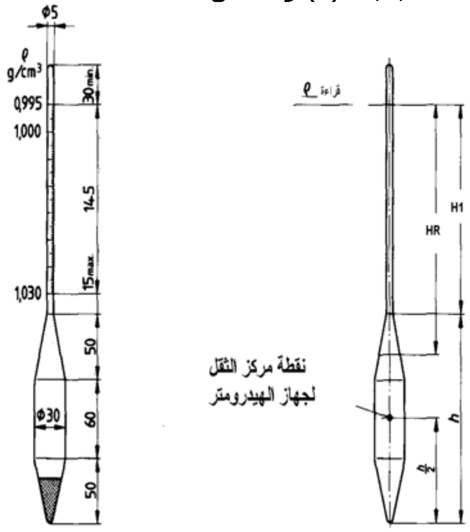
1 ـ تعين مساحة مقطع المخبار (A) سعة 1000 سم^3 الذي سيوضع فيه الهيدرومتر وذلك بقياس المسافة بين قراءتين للحجم، ثم قسمة هذا الحجم على المسافة. يجب أن تكون مساحة المقطع منتظمة للطول الكلي للمخبار.

2 ـ تقاس المسافات بين علامة أخفض قراءة على ساق الهيدرومتر والعلامات الخاصة بالقراءات الرئيسية (R_h) وتسجل القيم المقروءة.

3 ـ تقاس المسافة بين رقبة البصلة وعلامة أخفض قراءة وتُسَجَل.

4 ـ تحسب لكل قراءة رئيسية (R_h) المسافة (H_1) المناظرة وهي مجموع المسافتين في البندين 2 و 3.

5 ـ يقاس ارتفاع البصلة وهي المسافة (h) بين رقبة البصلة ونهايتها.يلاحظ أنه بالنسبة لمكان المركز الهندسي للهيدرومتر فتحدده العلاقة بالبند (6) والشكل 3.5.



الشكل 3.5 ـ أبعاد الهيدروميتر المستخدم في تجارب التربة وموقع مركز الثقل.

إن مكان المركز الهندسي لبصلة متماثلة حول محورها الطولي.فإذا استخدمت بصلة غير متماثلة يعين مركزها بدرجة كافية من الدقة بإسقاط شكلها على ورقة رسم ثم يعين مركز ثقل الشكل.

6 ـ يحسب لكل قراءة رئيسية (R_h)العمق الفعال (H_R) المناظر من العلاقة:

$$HR = H1 + 0.5 (h – vh / A)$$

حيث:

H_1 ـ المسافة من رقبة البصلة الى علامة القراءة (R_h)

h ـ طول بصلة الهيدرومتر سم.

Vh ـ حجم بصلة الهيدرومتر سم^3.

A ـ مساحة مقطع المخبار سم^2.

7 ـ ترسم العلاقة بين (HR) و (Rh) كمنحني مستمر. ومنها ينشأ مقياس لقيم (Hh) على يمين مقياس (H_R) على المخطط البياني لاستخدام قانون ستوك.

3.4.5.1 تصحيح التوتر السطحي:

1 ـ يوضع الهيدرومتر في مخبار سعة 1000 سم^3 يحتوي حوالي 700 سم^3 من المياه.

2 ـ توجه العين أخفض قليلاً من سطح الماء، ثم ترفع تدريجياً حتى يتحول السطح المرئي كقطع ناقص، إلى خط مستقيم. ثم تؤخذ قراءة الهيدرومتر التي على امتداد هذا الخط. ويلاحظ انه للحصول على قراءة دقيقة من مقياس الهيدرومتر، يجب أن يتكون التوتر السطحي، حول ساق الهيدرومتر بالكامل، مما يتطلب أن تكون ساق الهيدرومتر نظيفة تماماً.

3 ـ توجه العين أعلى قليلاً من سطح الماء، وتؤخذ قراءة الهيدرومتر التي تقابل النهاية العليا لمنحني التوتر السطحي للماء.

4 ـ يسجل الفرق بين القراءتين التي تم الحصول عليهما في الخطوتين 2 و 3 كتصحيح التوتر السطحي (سم). يلاحظ بأن الهيدرومترات تعاير بحيث تؤخذ قراءتها على امتداد سطح السائل. لكن حيث إن محلول التربة معتم بدرجة كافية بحيث لا يمكن أخذ القراءة مع سطح المعلق. فإن القراءة (R_h) تؤخذ مع الحافة

العليا للتوتر السطحي ويكون تصحيح التوتر السطحي (C_m) الذي يجب إضافته إلى القراءات (R_h) للحصول على (R_h) الحقيقية. هذا التصحيح ثابت وخاص بكل هيدرومتر وهي القراءة الحقيقية.هذا التصحيح ثابت لكل هيدرومتر.

5.5.1 الطريقة: Method

1.5.5.1 تحضير العينة:

1 ـ تجهز عينة وزنها حوالي 75 غرام من التربة المجففة في الهواء، بواسطة المقسم ذي الفتحات، وذلك حسب تحضير العينات المضطربة. توضع العينة في القارورة المخروطية ويضاف إليها 150 سم^3 من بيروكسيد الهيدروجين. يقلب الخليط لبضعة دقائق بلطف باستخدام القضيب الزجاجي، ثم تغطى بغطاء زجاجي وتترك لليوم التالي حيث تسخن تدريجياً.

ويجب مراعاة عدم تزايد الرغوة وانسكابها. تقلب المحتويات على فترات، وعندما ينتهي تصاعد الرغاوي، يقلّل الحجم إلى 50 سم^3 بالغليان. وقد يتطلب ذلك استخدام كمية إضافية من بيروكسيد الهيدروجين، لإتمام الأكسدة في حالة التربة المحتوية على نسب عالية من المواد العضوية.

2 ـ توزن الأوعية المستخدمة في جهاز الطرد المركزي بأغطيتها الى أقرب 0.001 غرام وتنقل إليها محتويات القارورة مع مراعاة عدم فقد أي كمية من محلول التربة أثناء ذلك. تضبط المياه بالقارورة بحيث تكون 200 سم^3 دورة/ دقيقة، ثم يسحب السائل العلوي الرائق. توضع الزجاجة بمحتوياتها في الفرن لليوم التالي لتجف ثم توضع في المجفف لتبرد. وتوزن بعدها محتويات الزجاجة من الترب الجافة المعالجة (m_b) وتسجل.

2.5.5.1 بعثرة التربة:

1 ـ يضاف 100 سم^3 من محلول هيكساميتا فوسفات الصوديوم باستخدام سحاحة الى التربة في زجاجات الطرد المركزي. يرج المحلول جيداً حتى تصبح التربة كلها معلقة، ثم يكمل رج الزجاجة في جهاز ميكانيكي لمدة 4 ساعات على الأقل.

2 ـ يمكن أن يستمر الرج لليوم التالي، إذا كان ذلك ملائماً ولكن إذا كانت التربة من النوع القابل للتفتيت بفعل الرج، مثل بعض أنواع الطين الصفائحي، فيجب اختصار زمن الرج ليكون أقل من 4 ساعات.

وجد أن استخدام هذا المحلول كعامل مبعثر بالتفاصيل المخبرية المذكورة آنفاً مناسب لمعظم أنواع الترب، ولكن بعض أنواع الترب التي تتكون من حبيبات دقيقة جداً قد لا تتبعثر حبيباتها تماماً.

3 ـ باستخدام الطريقة المذكورة ما يستدعي استخدام كميات إضافية من المعامل المبعثر أو غيره، في هذه الحالات، تتكون تجمعات كثيرة من حبيبات التربة بسرعة خلال المياه، كدلالة على ذلك، تظهر طبقة رائقة أعلى المعلق بالمخبار بفاصل واضح بينها وبين المعلق، في حالة حدوث ذلك تسحب أكبر كمية ممكنة من الطبقة الرائقة، ويضاف 100 سم^3 من المعامل المبعثر، ويرج المخبار جيداً، ثم يكمل الى 1000 سم^3 بالماء المقطر، فإذا استمر التلبد تستخدم وسيلة أخرى لبعثرة التربة .

4 ـ ينقل المحلول من الزجاجات الطاردة المركزية الى المنخل مقاس فتحته 0.063 مم الموضوع أعلى صينية الاستقبال، تغسل التربة على المنخل باستخدام ماء مقطر منبثق من زجاجة الغسيل، يجب ألا تزيد كمية المياه المستخدمة في هذه العملية عن 500 سم^3. وينقل المحلول المار من المنخل الى المخبار سعة 1000 سم^3 ويكمل الى هذا الحجم بالضبط بالماء المقطر.

5 ـ تنقل التربة المحجوزة على المنخل مقاس فتحته 0.063 مم إلى جفنة تبخير، وتجفف في فرن درجة حرارته 105 - 110 °م ثم يعاد نخل التربة المجففة على المناخل مقاسات فتحاتها 2.36 ، 0.6، 0.212، 0.063 مم.

6 ـ يلاحظ انه أثناء عملية النخل بالغسيل لفصل حبيبات الرمل، حيث تميل حبيبات الرمل ذات الأقطار الأصغر قليلاً من المنخل مقاس فتحته 0.063 مم إلى أن تحجز نتيجة التوتر السطحي للمياه المعلقة بين شبك المنخل. ولا يعتبر غياب تلك الحبيبات من المعلق ضاراً للترسيب اللاحق، بشرط أن تكون نسبة هذه الحبيبات صغيرة بالنسبة للعينة الكلية، أما إذا لوحظ أن جزءاً كبيراً من الحبيبات يمر من المنخل مقاس فتحته 0.063 مم أثناء النخل الجاف، فتضاف الحبيبات المارة الى المعلق بالمخبار قبل بدء الترسيب. ولكي يمكن تعيين النسب المختلفة من الرمل بدقة، فمن الضروري تجفيف الرمل المحجوز على المنخل مقاس فتحته 0.063 مم ونخله، تصنف المواد المحجوزة في هذه العملية الثانية بالتالي كبحص أو ورمل خشن متوسط وناعم.

توزن التربة المتبقية على المناخل وتسجل باعتبارها أوزان الزلط والرمل الخشن والمتوسط والناعم على الترتيب في العينة (mg ، mcs ، mms ، mfs).

3.5.5.1 الترسيب:

1 ـ توضع سدادة في فم المخبار المحتوي على محلول التربة الذي يرج بقوة حتى يتكون محلول منتظم. في النهاية يقلب رأساً على عقب عدة مرات. ينهى التقليب فجأة ليوضع المخبار رأسياً ليسجل الزمن المار بالميقاتية.

2 ـ يغطس الهيدرومتر في وضع أسفل قليلاً من وضعه عائماً ثم يترك ليتحرك بحرية .تؤخذ قراءة الهيدرومتر بعد مرور فترة 1/2، 1 ، 2 ، 4 دقيقة ثم يرفع الهيدرومتر ببطء ويشطف بماء مقطر ويترك في مخبار به ماء مقطر له نفس درجة حرارة معلق التربة.

3 ـ يوضع الهيدرومتر مرة ثانية في المحلول وتؤخذ القراءات بعد مرور فترات 8 ، 15، 30 دقيقة و 1، 2 ، 4 ساعات، ويرفع الهيدرومتر ويشطف ويوضع في الماء المقطر بعد كل قراءة.

بعد 4 ساعات، تؤخذ القراءات لعملية الترسيب مرة أو مرتين يومياً، حيث تسجل القراءة بدقة. يجب قبل أخذ كافة القراءات، وبعدها، أن يتم وضع وسحب الهيدرومتر بعناية لتحاشي حدوث اضطراب للمعلق على ألا تزيد هذه العملية عن عشرة ثواني.

5 ـ تلاحظ درجة حرارة المحلول، وتسجل مرة خلال مدة الخمسة عشر دقيقة الأولى، ثم عند كل قراءة تالية. تقرأ درجة الحرارة بدقة ± 0.5 درجة على الأقل. ويجب أن لا يزيد فرق درجة حرارة المعلق أثناء الاختبار كله عن المتوسط بمقدار ± 2 °م، حتى لا يتسبب عن ذلك خطأً في مقاس الحبيبات الأكبر من 2 % ، ويمكن عموماً تحقيق هذا الطلب إذا لم يتعدَ فرق درجات الحرارة في الحجرة 8 °م.

وإذا كان متوقعاً تعدي هذا الفرق، فيجب استخدام الحمام المائي. حيث يتسبب عدم التماثل في تسخين المعلق حدوث تيارات حمل تؤثر على عملية الترسيب، لذلك يجب بقاء المعلق بعيداً عن مصدر ضوء الشمس وبعيداً عن أي مصدر محلي للحرارة. ويمكن تأخير التبخر بوضع غطاء على المخبار في الفترة الزمنية بين القراءات.

6 ـ يؤكد قيمة التصحيح (x) الذي يطبق للعامل المبعثر بوضع 50 سم^3 من محلول البعثرة في زجاجة تبخير. وبعد إتمام تبخير المياه باستخدام فرن درجة حرارته 105 إلى 110 م^o يحسب وزن العامل المبعثر (m_d) ويحسب تصحيح العمل المبعثر (x) من المعادلة:

$$x = 2\,m_d$$

لا يعتمد هذا التصحيح على درجة الحرارة. ويجب أن تكون قيمته 4 تقريباً إذا كان تركيز هيكساميتافوسفات الصوديوم هو الموصى في البند 3.

4.5.5.1 الحسابات:

1 ـ النخل الناعم:

ـ لا تختص المناخل المستخدمة بالضبط بمقاسات الرمل ،ولكن يمكن إهمال الفرق لغالبية الأغراض.

يستخدم وزن التربة قبل المعالجة (m) في حساب النسبة الآتية:

ـ تحسب نسبة البحص في العينة الأصلية قطر 2ملم من المعادلة الآتية:

$$100 \cdot \frac{m_g}{m}$$

ـ تحسب نسبة الرمل الخشن 0.6 ـ 2 ملم في العينة الأصلية من المعادلة التالية:

$$100 \cdot \frac{m_{cs}}{m}$$

ـ نسبة الرمل المتوسط 0.6 ملم في العينة الصلبة من المعادلة الآتية:

$$100 \cdot \frac{m_{ms}}{m}$$

ـ تحسب نسبة الرمل الناعم 0.6 ـ 2 ملم في العينة الأصلية من المعادلة الآتية:

$$100 \cdot \frac{m_{fs}}{m}$$

2 ـ الترسيب:

تكون الحسابات كالتالي:

الجدول 1.5.1 ـ تسجل البيانات الملاحظة والكميات المحسوبة في الجدول التالي كما يلي:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
التاريخ	الوقت	درجة الحرارة	الزمن المنقضي	R'_h	$R_h = R'_h + c_m$	D	$R_h + m_t - x$	K

حيث:

R'_h ـ قراءة الهيدرومتر على الحافة العليا من الشد السطحي وتسجل بقراءة الأرقام العشرية فقط ووضع العلامة العشرية بين الرقمين العشريين الثالث والرابع ومثال ذلك الكثافة 1.032.

C_m ـ تصحيح الشد السطحي.

m_t ـ تصحيح درجة الحرارة، وهو موضح بالشكل البياني رقم (4.5) الذي يعطي التصحيح الذي يناسب الهيدرومترات المعايرة في درجة حرارة 20 °م.

x ـ تصحيح العمل المبعثر.

3 ـ يعين قطر الحبيبات المكافئ (D) بواسطة المخطط البياني لتطبيق قانون ستوك الشكل رقم 6.5.1. لتنفيذ ذلك تلاحظ قيمة الثابت (B) بوضع حافة مستقيمة عبر القيم المحددة للوزن النوعي (G_s) ودرجة الحرارة (T) على مقاييس كل منهما.

4 ـ تعيين قيمة السرعة (v) بوضع حافة مستقيمة عبر القيم المحددة لقراءة الهيدرومتر R_h والزمن (t) على مقاييس كل منهما.

5 ـ تعيين قيمة القطر المكافئ (D) بوضع حافة مستقيمة عبر قيم السرعة (v) والثابت (B) المحددة من الخطوتين 3 و 4 السابقتين كل على مقياسه، وتسجل بالجدول السابق بالعمود رقم 7.

6 ـ يعين تصحيح درجة الحرارة (M_1) من بياني تصحيح درجة الحرارة ويضاف الى قيمة (R_h - x) وتسجل في الجدول بالعمود رقم (8).

الشكل 4.5.1 ـ مسطرة تصحيح قياس درجة الحرارة.

7 ـ تحسب نسبة المار بالوزن (k) من الحبيبات الأدق من القطر المكافئ من المعادلة:

$$K = \frac{100\ G_s}{m\,(G_s - 1)}\,(R_h + M_t - x)$$

حيث:

m ـ الوزن الكلي الجاف للتربة بعد المعالجة.

G_s ـ الوزن النوعي لحبيبات التربة.

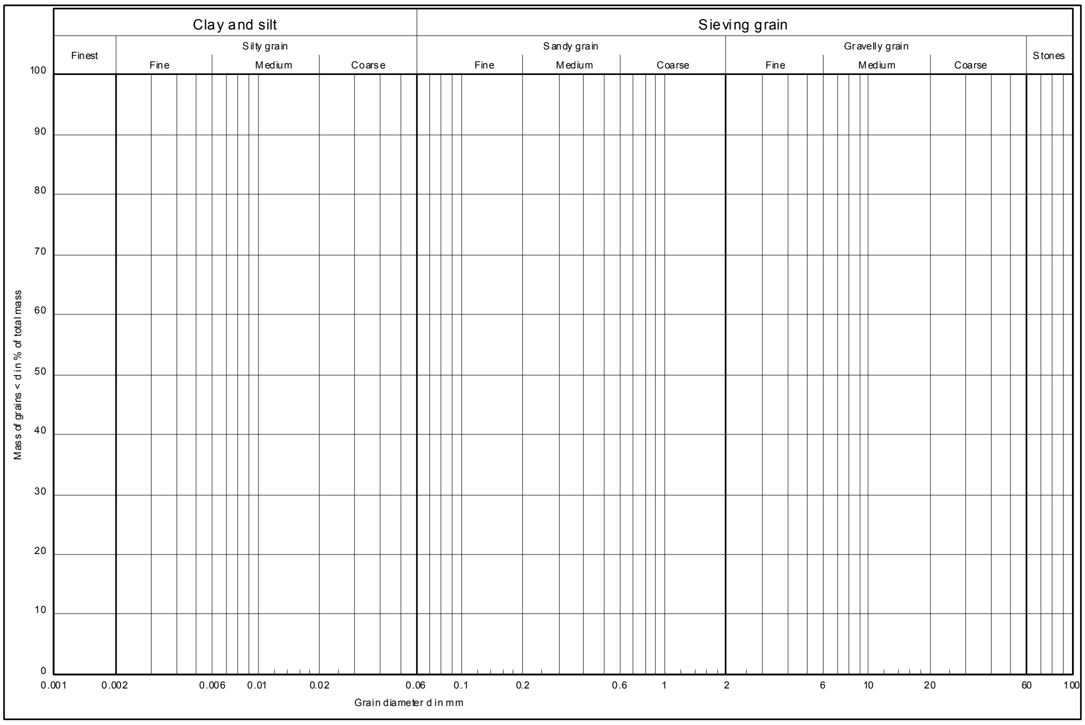
8 ـ تحسب قيم (K) لجميع قيم الأقطار D التي تم الحصول عليها ويعبر عنها كنسب مئوية من الحبيبات الدق من القطر المناظر D ثم تحسب النسب المئوية الكلية من التربة قبل المعالجة.

5.5.5.1 تسجيل النتائج:

تبين نتائج التدرج الناعم على مخطط نصف لوغاريتمي كالموضح بالشكل التالي.

إذا أجرى تدرج خشن على العينة فيجب إظهار التدرج كاملاً على الرسم مع الأخذ في الاعتبار للتفاوت المناسب لكل من الفاقد في المعالجة وللحبيبات الأكبر من مقاس 2 مم، وذلك في حساب النسب

المئوية. يمكن كبديل أن تبين النتائج باستخدام الأقطار المختلفة في جدول ونسب المار المناظرة الى أقرب 1% مع ذكر انه تم استخدام الهيدرومتر في الاختبار.



المشـروع: رقم العينـة:

المــوقع: عمق العينـة:

رقم العينة: وصف التربة :

رقم الهيدرومتر:

تصحيح التوتر السطحي (C_m) = ...

تصحيح درجة الحرارة(M_t):(من الشكل البياني رقم (4.5.1).

تصحيح العمل المبعثر (x):

الوزن النوعي (G_S):

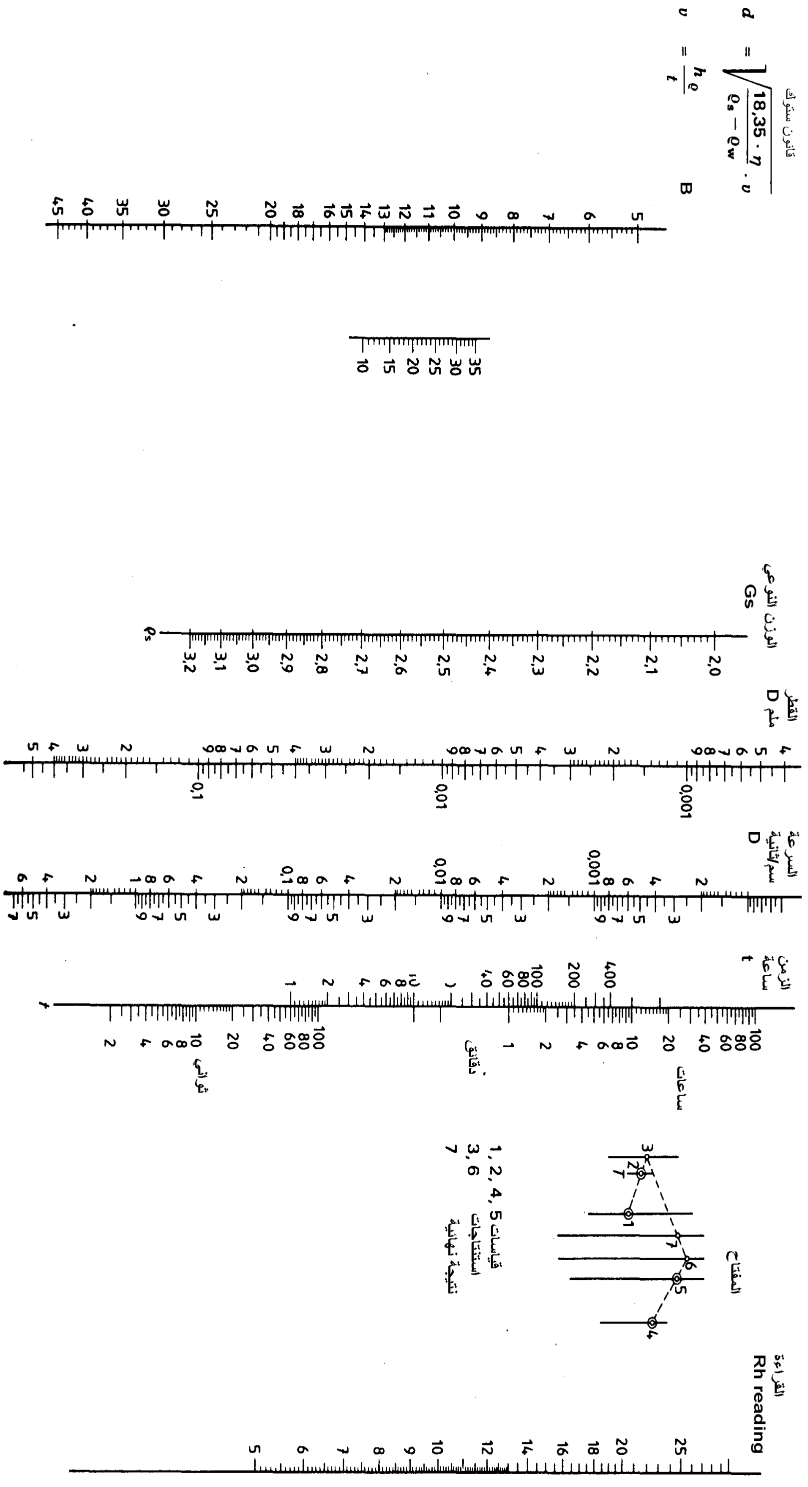
نسبة المار (K):

$$K = \frac{100 \cdot G_s}{m \cdot (G_s - 1)} (R_h + M_t - x)\,\%$$

جدول ـ 1.5 نتائج التدرج الحبي للتربة ناعمة الحبيبات باستخدام الهيدرومتر.

الفاقد في المعالجة		نسبة محتوى الرطوبة للعينة الجافة في الهواء	
رقم جفنة البخر. وزن الجفنة + التربة الجافة في الهواء (غ). وزن الجفنة (غ). وزن التربة الجافة في الهواء قبل المعالجة (m_a). وزن الجفنة + التربة المجففة في الفرن(غ). وزن التربة المجففة في الفرن بعد المعالجة (m_b). الفاقد في المعالجة: $100 - \frac{m_b(100 + w)}{m_s}$ %		رقم الوعاء. وزن الوعاء + التربة الجافة في الهواء (غ). وزن الوعاء + التربة المجففة في الفرن (غ). وزن الوعاء (غرام). وزن التربة المجففة في الفرن (غرام). وزن الماء (غرام). نسبة الرطوبة(w) %.	

التاريخ	الوقت	درجة الحرارة م°	الزمن المنقضي	قراءة الهيدرومتر R'_h	القراءة المصحح R_h	القطر المكافئ D	$R_h + m_t - x$	نسبة المار K %



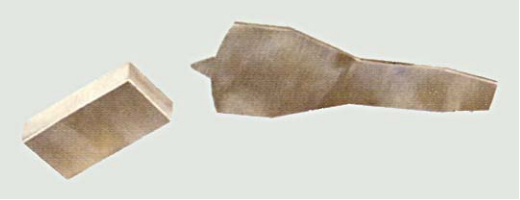
الشكل 6.5.1 ـ نومغرام لتحديد أقطار الحبيبات بالطريقة التخطيطية.

التجربة 6.1 ...

تجربة تعيين حد السيولة للتربة
Test for Liquid Limit of Soil
ASTM- 93- D 4318

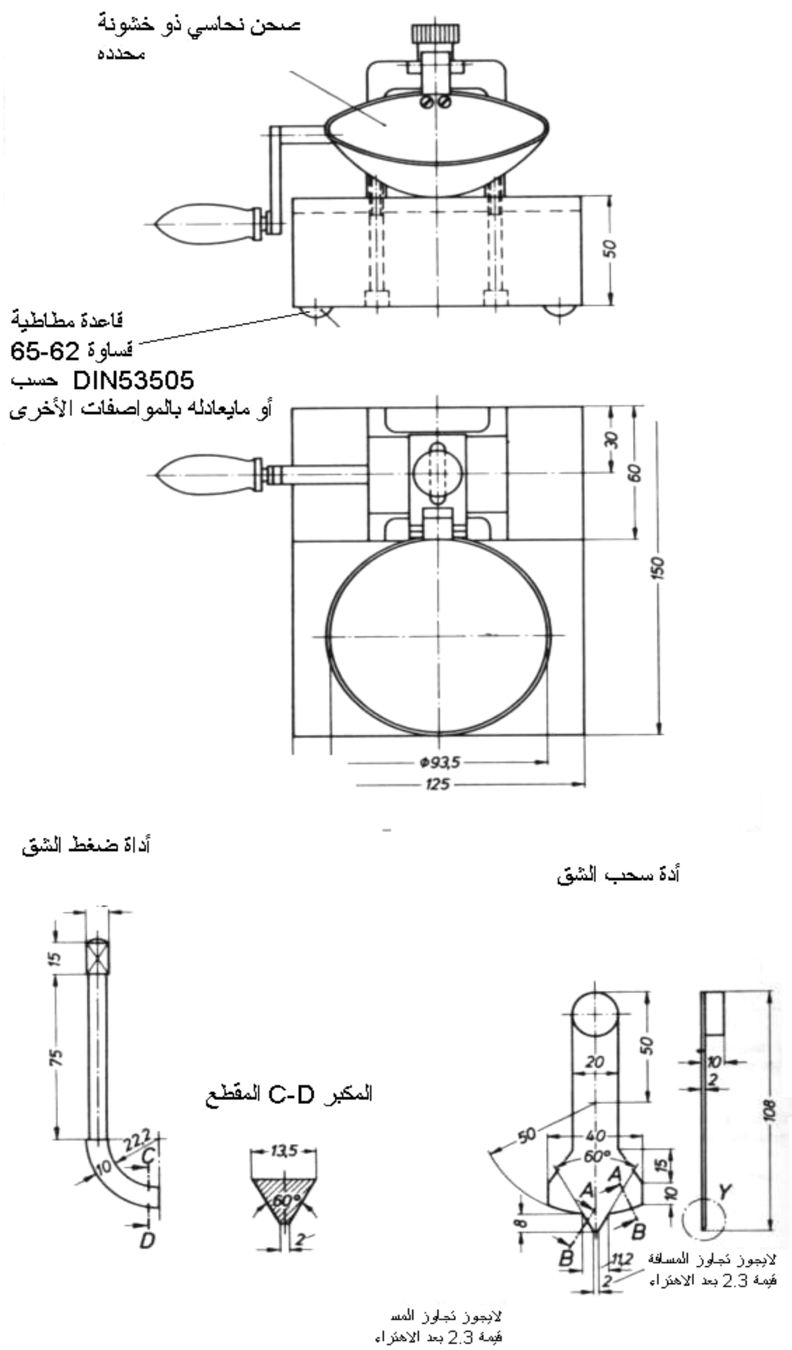
1.6.1 تعريف: Definition
يعـرّف حد السيولة لتربة، بأنه رطوبة التربة، التي إذ وصلت إليها التربة، انتقلت من الحالة اللدنة إلى الحالة السائلة.

2.6.1 الأدوات والأجهزة اللازمة للتجربة: Apparatus
1 ـ صحن بورسلان (يفضل أن يكون غير زجاجي) بقطر حوالي 115 مم.
2 ـ سكين خاصة (pill Knif) لها شفرة بطول 75 مم و بعرض 20 مم.
3 ـ جهاز حد السيولة من أحد النموذجين التاليين:
جهاز كازغراندي: يعمل يدوياً كما هو مبين في الشكل (1.6.1). وهو جهاز يتألف من صحن على شكل فنجان مصنوع من النحاس الأصفر مع حاضن مصنوع حسب الشكل السابق.
جهاز كازاغراندي كهربائي: حيث يزود الصحن بمحرك كهربائي يرفع الصحن ويدعه يسقط سقوطاً حراً بعدد ثابت من الضربات. حيث يزود عادةً بعداد لقراءة عدد الدورات أو الضربات. يعطي الجهاز قيمة حد السيولة نفسها التي نحصل عليها بالجهاز الذي يعمل يدوياً.
4 ـ أداة لإنشاء الشق ضمن التربة في الصحن النحاسي مصنعة تماماً حسب الأبعاد المبينة في الشكل (2.6.1).
5 ـ أداة ضغط ومعايرة الشق الترابي في الصحن.
6 ـ تجهيزات قياس رطوبة التربة المعروفة.
والتي تتألف من:
ـ ميزان بحساسية (0.1 غ).



الشكل 1.6.1 جهاز كازغراندي اليدوي مع أداة إنشاء الشق.

الشكل 3.6.1 ـ ميزان قياس الرطوبة لعينات مأخوذة من جهاز كازغراندي من محيط الشق.



الشكل 2.6.1 ـ تفاصيل جهاز كازغراندي والأدوات الملحقة اللازمة (تشغيل ميكانيكي).

ـ فرن تجفيف مجهز بتحكم حراري لإبقاء درجة الحرارة محافظة على 110 + 5 °م لتجفيف عينات التربة.

3.6.1 كيفية تعيين حد السيولة: Determination of Liquid Limit

1.3.6.1 الطريقة الأولى:

1.1.3.6.1 أخذ العينة:

تؤخذ عينة تزن حوالي 100 غرام من المواد المارة من المنخل No4 (0.425 مم) بعد خلطها بالطريقة النموذجية لتجهيز عينات التربة المضطربة، أو بالطريقة النموذجية للتجهيز الرطب لعينات التربة المضطربة لأغراض الاختبار.

2.1.3.6.1 ضبط جهاز حد السيولة:

يجب أن يفحص جهاز حد السيولة لتقرير ما إذا كان الجهاز في حالة تشغيل جيدة، و فيما إذا كان محور الاتصال مع الصحن لم يتآكل بشكل كاف (انظر الشكل 2.6.1). بحيث يسمح بحركة جانبية يجب التأكد من إحكام البراغي التي تصل الصحن مع ذراع التعليق، والتأكد أن منطقة تلامس الصحن مع القاعدة لم تتآكل لدرجة غير مسموحة، ومن عدم حدوث تآكل كبير في حافة الفنجان. كما يجب التحقق من أن أداة تشكيل الشق لم تتآكل في الصحن خلال استعمالها الطويل. حيث يتوجب معاينة أداة الحز للتأكد من أن الأبعاد الحرجة المبيّنة في الشكل السابق لم يتم تجاوزها.

3.1.3.6.1 طريقة العمل:

لا يجوز أن تستخدم تربة قد تم تجفيفها أو تغير لونها بفعل نقصان الرطوبة التي تعرضت لها في المخبر أو خلافه. حيث تنقع العينة ذات اللدونة المنخفضة لعدة ساعات بالماء بينما تنقع التربة العالية اللدونة لعدة أيام بالماء حيث قد تصل المدة إلى أربعة أيام قبل أجراء التجربة عليها.

1 ـ توضع عينة التربة في صحن الخلط و تخلط بالكامل مع (15) إلى (20) مل من ماء مقطر، ثم يصار إلى خلطها وقطعها وتقليبها بواسطة مشحاف. ويمكن إضافة كميات أخرى من الماء بتزايد من (1) إلى (3) مل. وكل إضافة من الماء يجب خلطها بالكامل مع التربة قبل الأخرى.

لا تضاف عند البدء بالتجربة أية تربة جافة إضافية إلى عينة التربة الرطبة. كما يجب عدم استخدام صحن جهاز حد السيولة لخلط التربة مع الماء.

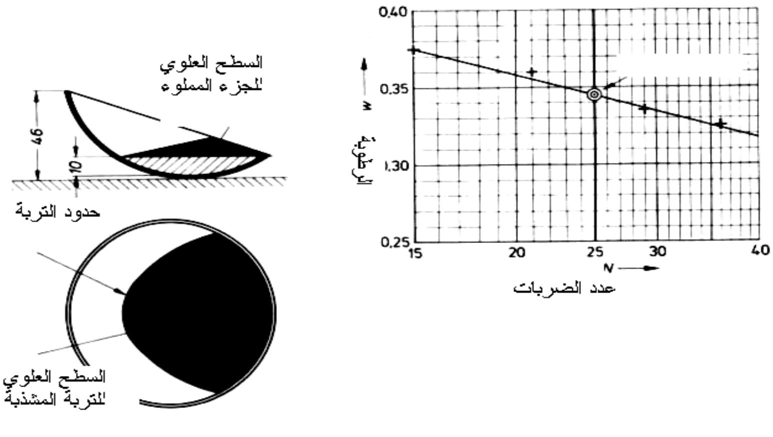
هنالك بعض الترب بطيئة امتصاص الماء، و بالتالي فإنه عند إضافة الماء بسرعة نحصل على قيمة خاطئة لحد السيولة.

يمكن التغلب على ذلك عندما تُعطى التربة الوقت الكافي لامتصاص الماء.

2 ـ بعد خلط الكمية الكافية من الماء مع التربة لتتشكل كتلة منتظمة، توضع كمية كافية من هذا الخليط في الصحن حيث يتوضع الصحن على القاعدة ، تضغط و تنشر التربة باستخدام كل من أداة شق التربة وأداة ضغط لشق.

في الوقت نفسه يشذب سطح التربة إلى مستوى بعمق (10) ملم في النقطة ذات السماكة الأعظمية.

يجب تشذيب سطح التربة بحيث نمنع بقاء الفقاعات الهوائية في الكتلة. تسوى التربة بالمشحاف وفي الوقت نفسه تشذب إلى عمق (10) ملم في نقطة السماكة الأعظمية. وتعاد التربة الزائدة إلى صحن الخلط.



الشكل 4.6.1 ـ طريقة تشكيل العينة في الصحن وطريقة اشتقاق حد السيولة.

تقسم التربة في صحن الجهاز بشق يتوسطها بأداة تشكيل الشق الخاصة على طول القطر و عبر الخط المركزي بحيث يتشكل حز حاد نظيف بالأبعاد الصحيحة.
عند كون التربة سلتاً فإن تشكيل الشق لن يكون ممكناً من أجل ذلك لابد من تشكيل الشق على مراحل. حيث يمكن تشكيل أكثر من ست تقعرات (تحزيزات) من الأمام إلى الخلف أو من الخلف إلى الأمام ليتشكل أخيراً الشق المنشود، حيث يتوجب تشذيب سطح التربة في الصحن تباعا باستخدام أداة ضبط الشق. يتزايد عمق التقعر في كل مرة ويكون فقط التقعر الأخير هو الذي يحك أسفل الصحن. في كل الأحوال فإنه لا يجوز السماح للتربة بالانزياح أو التشوه.
3 ـ يتم رفع و إسقاط الصحن الحاوي على العينة المجهزة كما في الشكل 4.6 السابق، بتدوير الذراع بسرعة تساوي دورتين في الثانية إلى أن يتلامس جانبي الشق في أسفله على طول مسافة مساوية إلى حوالي (10) ملم. يسجل عدد الضربات الذي أدى إلى إغلاق الشق بهذه المسافة. ثم تأخذ عينة من التربة بحجم 5 سم ^{3} ليتم تحديد رطوبتها.
4 ـ إن حد السيولة هو الرطوبة الموافقة لعدد ضربات التي قدرها 25 ضربة والتي ينغلق عندها الشق على طول 10ملم. بما أنه من غير الممكن أن يتم إيجاد هذه القيمة بسهولة فقد جرى الاتفاق على إجراء مجموعة من التجارب برطوبات مختلفة، وتحديد في كل مرة عدد ضربات اللازمة لإغلاق الشق شريطة أن لا يتجاوز عدد الضربات عن 40 ضربة وأن لا تقل عن 5 ضربة. من أجل ذلك فإنه يتوجب أن نبدأ التجارب برطوبات منخفضة حيث تزداد الرطوبة بالتجربة التالية.
5 ـ من أجل زيادة الرطوبة، فإنه يتوجب أن يتم خلط العينة المستخلصة من الصحن، مع التربة الباقية خارجه، حيث يفرش الخليط على لوح زجاجي ليضاف الماء المقطر إليه لاحقاً. أما الصحن فيجب أن يتم تنظيفه وتجفيفه تماماً قبل البدء بالتجربة التالية.
6 ـ تمثّل العلاقة بين محتوى الرطوبة و عدد الضربات الموافق على مخطط نصف لوغاريتمي بحيث يكون محتوى الرطوبة على المقياس العددي و عدد الضربات على المقياس اللوغاريتمي. ويجب أن يرسم منحني التابع أقرب ما يمكن إلى خط مستقيم من خلال النقط المسجلة الثلاثة أو الأكثر كما في الشكل 4.6.1.
7 ـ حد السيولة:
يؤخذ محتوى الرطوبة الموافق لتقاطع المستقيم المأخوذ من 25 ضربة من منحني التابع و يعتبر حد السيولة للتربة. تسجل هذه القيمة إلى أقرب عدد صحيح.

2.3.6.1 طريقة النقطة الواحدة:

يمكن، من أجل الدراسات الروتينية، تحديد حد السيولة بطريقة تقريبية تعتمد على قياس الرطوبة لمرة واحدة وتحديد عدد الضربات الموافقة اللازمة لانغلاق الشق. تجهز العينة تماماً كما ذكر أعلاه.
يتوجب استخدام هذه الطريقة أن يقع عدد الضربات الموافقة لهذه الرطوبة بين 15 - 35 ضربة. كما يتوجب أن تعاد التجربة مرتين من أجل التأكد من صحة عدد الضربات المسجلة N.
أما حد السيولة فيتم حسابه بالعلاقة التالية:

$$L_L = W_N \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} = A \cdot W_N$$

من أجل عدد ضربات بين 15 - 35 ضربة نستعين بالجدول التالي:

الجدول 1.6.1

N	A	N	A
15	0.9401	26	1.0047
16	0.9474	27	1.0094
17	0.9544	28	1.0138
18	0.9610	29	1.0181
19	0.9673	30	1.0222
20	0.9633	31	1.0264
21	0.9791	32	1.0303
22	0.9846	33	1.0342
23	0.9899	34	1.0379
24	0.9550	35	1.0415
25	1	-	-

حيث:
L_L ـ حد السيولة المعرف (التقريبي).
N ـ عدد الضربات.
W_N ـ الرطوبة الموافقة لعدد الضربات N.
ـ ملاحظة:
إن القوة 0.121 هي قيمة وسطية.
نستخدم القوة 0.10 من أجل الترب ذات حد السيولة $L_L > 60\%$ كما نستخدم القوة 0.14 من أجل الترب ذا ت حد السيولة $L_L \leq 40\%$

التجربة 7.1 ...

تعيين حد اللدونة وقرينة اللدونة للتربة
Test for Plastic Limit and Plastic Index of Soil
ASTM- D 4318 -93

1.7.1 تعاريف: Definitions

ـ حد اللدونة:

هو: الرطوبة التي إذا زادت عنها رطوبة التربة انتقلت حالتها من النصف صلبة إلى اللدنة.

ـ قرينة اللدونة:

هي: الفرق العددي بين حد السيولة وحد اللدونة للتربة. تهدف التجربة إلى معرفة مجال اللدونة للتربة المتماسكة بهدف تصنيفها لمعرفة قوامها وقدرة تحملها وقابليتها للانضغاط بشكل أولي.

2.7.1 الأجهزة و الأدوات المستخدمة: Apparatus

1 ـ وعاء من البورسلين أو ما شابهه لإجراء الخلط فيه قطره حوالي 115مم وحتى 150 مم.
2 ـ سكين ذات شفرة بطول حوالي 75 - 150 مم و عرض 19 مم تقريباً.
3 ـ عادةً صفيحة زجاجية (سطح دحرجة) ماص للماء لا يحوي ألياف يسمح بدحرجة الفتائل عليه.
4 ـ علب زجاجية نظيفة متماثلة الأبعاد تمنع ضياع الرطوبة خلال الوزن.
5 ـ ميزان بحساسية 0.01 غرام.
6 ـ فرن تجفيف مزود بتحكم آلي بدرجة الحرارة (110 + 5 ^{o} م) للعينات التي تجفف.

3.7.1 خطوات التجربة: Procedure

لتحديد حد اللدونة فقط، تؤخذ كمية من التربة تزن حوالي 20 غرام من الجزء المخلوط جيداً من المادة و المار من المنخل الذي فتحته 0.42 ملم.

توضع التربة المجففة هوائياً في وعاء الخلط و تخلط جيداً و بكاملها مع ماء مقطر أو نقي حتى تصبح الكتلة لدنة بشكل كافٍ بحيث يمكن تشكيل عجينة كروية منها. يؤخذ جزء من هذه العجينة يزن حوالي 8 غرام لإجراء الاختبار. تدحرج العينة على الصفيحة ثم يعاد تشكيلها ودحرجتها وذلك حتى تبدأ الفتائل المتشكلة بقطر 3 مم بالتشقق.

يفضل أن نستعين بسلك معدني بقطر 3 ملم من أجل مقارنة قطر الفتائل مع السماكة القياسية المطلوبة.

رطوبة هذه الفتائل هي حد اللدونة P_L.

من أجل تحديد الرطوبة، توضع الفتائل في جفنات زجاجية مغلقة، حيث يكفي عينات بوزن 5 غرامات لإجراء قياس الرطوبة.

تكرر التجربة ثلاث مرات، كحد أدنى، بحيث لا تتجاوز الفروقات فيما بينها $\Delta W = 0.02 = 2\%$ عند ذلك تعتبر القيمة الوسطية للتجارب كحد لدونة.

إذا ما أخذت العينة قبل انتهاء تجربة حد السيولة، فإنه تترك جانباً متعرضة للهواء حتى إنهاء تجربة حد السيولة.

أما إذا أخذت العينة خلال اختبار حد السيولة، وكانت جافة بحيث يصعب دحرجتها إلى قطر 3 مم، فيضاف ماء إليها ليعاد الخلط مرةً أخرى.

4.7.1 تقييم النتائج: Results Evaluation

نظراً لأن تجربتي حد السيولة واللدونة تجريان على حبيبات التربة ذات الأقطار الأقل من 0.42 مم (المهزة 40)، فإن النتيجة، تكون قابلة للتقييم والمقارنة مع نتائج أخرى فقط عندما لا تحوي التربة على حبيبات ذات قطر أكبر من القطر المذكور.

لمعرفة ذلك فإنه يتوجب أن نمرر العينات التي قيست رطوباتها بعد تجفيفها على المنخل رقم 40 وذلك بغسلها فوق المنخل. حيث يجري بعد ذلك تجفيف الجزء المحجوز فوق المنخل لتحسب بعد ذلك كتلتها الجافة m_o، وليحسب بعد ذلك نسبة وزن الحبيبات المحجوزة الجاف إلى وزن كامل العينة الجاف m_d.

إذا لم تتجاوز النسبة قيمة 25% عندها يمكن اعتماد نتائج قياس الرطوبة للحبيبات ذات الأقطار الأقل من 0.42 ملم بتطبيق العلاقة التالية:

$$0 = \frac{m_0}{m_d}$$

$$w < 0.4 \approx \frac{w}{1 - O}$$

ملاحظة:

يعود هذا التصحيح إلى الاعتقاد بأن الحبيبات الخشنة $d > 0.42$ mm لا تمتص الماء وبما أن هذه الفرضية ليست صحيحة تماماً تشكل الرطوبة المحسوبة $W < 0.4$ الحد الأعلى.

فإذا ما كانت رطوبة الحبيبات الخشنة معروفة w_o فتحسب رطوبة الحبيبات المارة من المنخل رقم 40 بتطبيق العلاقة التالية:

$$w < 0.4 = \frac{w - w_o \cdot O}{1 - O}$$

إن وجود حبيبات ذات أقطار أكبر من 0.42 ملم يعطي قيماً دنيا.

5.7.1 أمثلة توضيحية: Illustrative Examples

جدول رقم 1.5.7.1

أكبر قطر للحبيبات هو 2 مم الحبيبات التي أجريت عليها التجربة مرت من المنخل رقم 40.

رقم التجربة			1	2	3	4
عدد الضربات		g	36	29	21	15
عينة رطبة مع جفنة	$m + m_B$	g	58.82	43.95	49.60	45.41
عينة جافة مع جفنة	$m_d + m_B$	g	56.44	41.43	47.24	42.90
جفنة	m_B	g	49.09	33.61	40.65	36.19
وزن الماء	$(m + m_B) -(md + m_B) = m_w$	g	2.38	2.61	2.36	2.51
العينة جافة	$(md+m_B)-m_B=md$	g	7.35	7.73	6.59	6.71
الرطوبة	$w = \frac{m_w}{m_d}$	g	0.324	0.337	0.358	0.374
يتبين أن حد السيولة هو .0.345 = L_L =34.5% وذلك بالعودة الشكل رقم 1						

جدول رقم 2.5.7.1

رقم التجربة		الواحدة	1	2	3	4
عينة رطبة مع جفنة	$m + m_B$	g	45.32	63.98	43.23	45.45
عينة جافة مع جفنة	$m_d + m_B$	g	44.44	63.11	42.64	45.29
جفنة	m_B	g	40.25	58.44	38.30	40.26
وزن الماء	$(m + m_B) - (md + m_B) = mw$	g	0.88	0.87	0.81	0.94
العينة جافة	$(md + m_B) - m_B = md$	g	4.19	4.67	4.34	5.03
الرطوبة	$w = \frac{m_w}{m_d}$	g	0.210	0.186	0.188	0.187
يتبين أن حد اللدونة هو PL = 0.817 = 18.7% حيث أن هذه القيمة هي وسطي كل من نتائج التجارب 2,3, 4						

6.7.1 تحديد قرينة قوام التربة: Index of consistency

تحسب قرينة اللدونة باستخدام العلاقة التالية:

$$Ip = L_L - P_L = 0.345 - 0.187 = 0.158 = 15.8\%$$

تبلغ الرطوبة الطبيعية للتربة المختبرة: $w = 0.185 = 18.5\%$

أما نسبة الوزن الجاف للمحجوز على المنخل رقم 40 إلى وزن كامل العينة فيبلغ:

$$0 = \frac{m_o}{m_d} = 0.18 = 18\,\%$$

وبذلك تحسب رطوبة الجزء المار من المنخل ذو الرقم 40 بالعلاقة التالية:

$$w_o = \frac{w}{1-0} = \frac{0.185}{1-0.18} = 0.226 = 22.6\%$$

أما قرينة السيولة فتبلغ:

$$P_I = \frac{L_L - w_o}{P_L} = \frac{0.345 - 0.226}{0.158} = 0.755$$

التجربة 8.1 ...

تجربة القص المباشر للتربة المثبتة المصرَّفة
The Direct Shear Test under Consolidated Drained Conditions
(ASTM - D3080-90)

1.8.1 مقاومة القص (الانهيار): Shear Strength

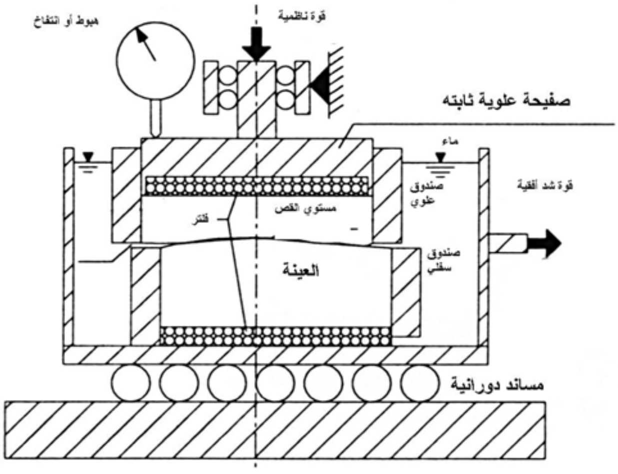
تعرف مقاومة القص بأنها أقصى إجهاد مقاوم لقص التربة،كما تعرف أيضاً بقيمة إجهاد القص المؤثر على طول مستوي الانهيار وقت حدوث الانهيار.

2.8.1 الغرض من التجربة: Scope

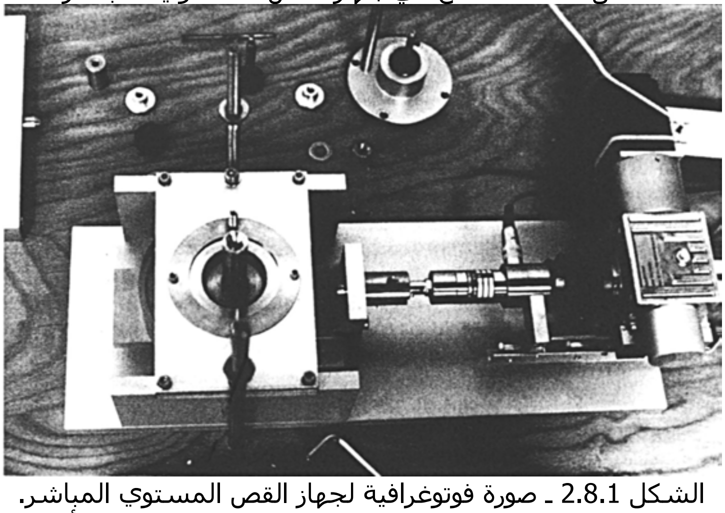
الغرض من هذا الاختبار هو تعيين معاملات القص وهما زاوية الاحتكاك الداخلي φ_f'، التماسك (c_f')، والتي تلزم في الحسابات الجيوإنشائية.

3.8.1 الأجهزة المستخدمة: Apparatus

1 ـ يتألف جهاز صندوق القص كما هو موضح بالشكل رقم 1.8.1 والشكل 2.8.1 مما يلي:



الشكل 1.8.1 ـ مقطع في جهاز القص المستوي المباشر.



الشكل 2.8.1 ـ صورة فوتوغرافية لجهاز القص المستوي المباشر.

1 ـ من صندوق من المعدن بمقياس داخلي 60 x 60 مم، (وتختلف هذه الأبعاد تبعاً للشركة المصنعة المواصفات إلا أن مبدأ العمل لا يتغير) وهو مقسم الى نصفين بحيث يمكن للصندوق العلوي المتحرك أن ينتقل أفقياً على الصندوق السفلي الثابت (قد يتحرك الصندوق السفلي بينما يبقى الصندوق العلوي ثابتاً في أجهزة أخرى). توضع عينة التربة في الصندوق حيث يوضع الحمل الرأسي فوقه على قرص يحتوي بداخله الفلتر حيث يعرض الصندوق العلوي الى إزاحة أفقية بعد ذلك بسرعة ثابتة.

2 ـ جهاز صندوق القص كما شرح سابقاً.
3 ـ مدق لرص التربة داخل صندوق القص.
4 ـ فرن تجفيف آلي الضبط عند درجة حرارة 105 - 110 م.
5 ـ ميزان حساس تبلغ دقته 0.5 غرام.
6 ـ قدة مستقيمة من الصلب ذات حافة حادة.

4.8.1 تجربة القص للتربة الرملية: Shear Strength for Sandy Soils

1.4.8.1 وصف جهاز المقص:

أجزاء الجهاز الرئيسية هي:
1 ـ علبة سرعة
2 ـ جهاز تطبق القوة الشاقولية
3 ـ محرك تطبق القوة الأفقية
4 ـ صندوق القص:

يتألف صندوق القص بدوره من جزأين أحدهما يبقى ثابتاً أثناء تطبيق قوة القص، بينما يتحرك الجزء الأخر. تحدد المسافة الفاصلة بين جزئي صندوق القص، عن طريق تدوير براغي التثبيت التي تصل بين الصندوقين والتي تسمح بفصل الجزء العلوي عن السفلي بمقدار بسيط 0.1 مم. يمنع هذا الفاصل (الشق) احتكاك جزئي الصندوق على بعضهما البعض. تزود الأجهزة الحديثة بسكة يتحرك عليها الصندوق العلوي. حيث تهدف هذه السكة إلى منع دوران الجزء العلوي أثناء زلق الصندوق السفلي على العلوي لتجنب تسجيل نتائج قياس خاطئة.

2.4.8.1 الطريقة:

تؤخذ عينة من التربة المراد اختبارها بعد تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة 105 - 110 °م. وتوزن منها كمية كافية لأن تعطي الكثافة المطلوب والمراد الاختبار عندها.

1 ـ يثبت الجزء السفلي والعلوي للصندوق بواسطة مسمار تثبيت يمكن نزعه قبل إجراء الاختبار. ومن ثم توضع العينة في الصندوق.

2 ـ يراعى قبل رص العينة في القالب شد برغي التباعد (يخترق برغي التباعد النصف العلوي من علبة القص، ويرتكز على النصف السفلي عند رأس البرغي، وذلك لتصغير سطح الاحتكاك بين جزئي الصندوق).

3 ـ ترص التربة على طبقات، إلى أن تصل الى الكثافة المطلوبة، ثم يسوى سطحها العلوي بواسطة القدة المستقيمة. لابد من التنبيه، إلى أنه من الصعب الحصول على نفس الكثافة، ولو لنفس التربة، بدق العينة في صندوق القص، مما يجعل الانحراف في نتائج الاختبارات كبيراً عند قياس مقاومة الرمل للقص بهذه الطريقة•.

4 ـ يوضع الحمل الرأسي على سطح العينة وينزع مسمار التثبيت ليبدأ الاختبار. يجب التأكد من أن نصفي صندوق القص غير ملتصقين، وذلك بواسطة مسمار خاص موجود في بعض الأجهزة.

5 ـ بالنسبة لجهاز القص ذو التحكم في الإزاحة، تقرأ قوة القص كل 15 ثانية، لمدة دقيقتين ثم تقرأ لدى كل 1 مم إزاحة.

ويستمر ذلك حتى يكون مقدار الإزاحة حوالي 15% من ارتفاع العينة، أو حتى نحصل على قوة قص ثابتة، مع استمرار الإزاحة أيهما أقرب (أي حتى الوصول لقص الانزلاق).

3.4.8.1 الحسابات:

تحسب زاوية الاحتكاك الداخلي φ'_f لعينة التربة من المعادلة التالية:

$$\varphi'_f = \arctan \frac{\tau}{\sigma'}$$

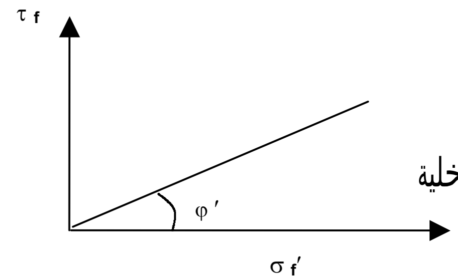
τ ـ أقصى إجهاد قص يمكن حسابه من قسمة قوة القص على مساحة مقطع صندوق القص kN / m^2

σ'_f ـ الإجهاد العمودي الناتج عن قسمة الحمل العمودي على مساحة مقطع صندوق القص kN / m^2

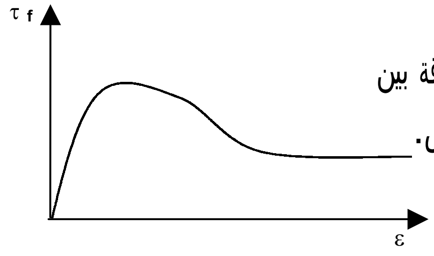
σ' ـ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المختبرة.

• هـذا وتحـتوي المراجع المختلفة على العديد من الاختبارات الحقلية من أهمها تجربة الاختراق النظامية (SPT) (Standard Penetration Test) والـتي نستطيع بواسطة نتائجها، ومعرفة التدرج الحبي، وشكل، وحجم حبات الرمل أو البحص، ومعرفة مستوي المياه الجوفية، من تحديد زاوية الاحتكاك الداخلي بدقة جيدة.

4.4.8.1 تسجيل النتائج:
تسـجل النتائج كما في جدول رقم (1.8.1). من الأفضل إجراء ثلاثة تجارب قص على ثلاثة عينات من نفس التربة وعند نفس الكثافة، وذلك تحت ثلاثة أحمال شاقولية مختلفة.
ترسم العلاقة بين الإجهاد الشاقولي على المحور الأفقي , والإجهاد الأفقي الأكبر τ_f المقابل، على المحور الأفقي، أي إجهاد القص، عند الانهيار على القص σ_f يكون ميل الخط الواصل بين النقاط على المحور الأفقي هو زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. الشكل رقم (3.8.1).
يمكن كذلك رسم العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص كما في الشكل (4.8.1).



الشكل 3.8.1 ـ كيفية استنتاج زاوية الاحتكاك الداخلية



الشكل 4.8.1 ـ العلاقة بين التشوه ومقاومة القص.

5.8.1 اختبار القص للتربة الغضارية المشبعة: Shear Strength for Saturated Clay Soil

1.5.8.1 وصف الجهاز:
1 ـ جهاز صندوق القص كما شرح سابقاً.
2 ـ صندوق تحديد مقاس العينة.
3 ـ منشار دقيق.
4 ـ سكينة حادة بعرض حوالي 20 مم وطول حوالي 150 مم.
5 ـ فرن تجفيف مع المستلزمات اللازمة لتعيين محتوى الرطوبة.
6 ـ ميزان حساس تبلغ دقته 0.5 غرام.

2.5.8.1 الطريقة:
1 ـ يقطع جزء من العينة السليمة بأبعاد أكبر قليلاً من مقاس صندوق القص.يجب أخذ الحيطة التامة عند قطع أطراف العينة بحيث تكون مستوية تماماً وذلك باستخدام صندوق تحديد مقاس العينة والمنشار.
2 ـ تنقل العينة الى صندوق القص ويوضع على سطحها جهاز التحميل استعداداً لبدء الاختبار.
3 ـ تحمل العينة عند الإجهاد الناظمي المراد قص العينة عنده، وهي مغمورة بالماء.

4 ـ عـند انـتهاء هـبوط العيـنة بتأثـير هـذه الحمولـة، يمكـن أن تـنقل العيـنة إلى جهاز القص إذا كانت عملية التثبيت تجرى في جهاز الأدومتر. حيث تكون عملية التثبيت قد انتهت.
5 ـ تحمـل العيـنة بـنفس الإجهـاد الناظمـي، الـذي كانت مطبقاً في جهاز التثبيت، حيث يجرى عليها القص بسرعة ثابتة. يتعلق اختيار السرعة بنوع التربة الناعمة وخصوصاً عامل نفاذيتها.
6 ـ تجرى عملية القص تحت الماء. حيث يتوجب السماح للعينة بامتصاص وطرح الماء من مستوي القص أثناء إجراء التجربة، وذلك سواءً أكانت العينة مسبقة الانضغاط OCR >> 1 أو عادية الانضغاط OCR =1.

3.5.8.1 الحسابات:

تحسب قوة التماسك للتربة الغضارية المشبعة من المعادلة التالية:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \tan\varphi'$$

حيث:

c´ ـ إجهاد التماسك للتربة الغضارية kN / m^2.

τ ـ أقصى اجهاد قص ،يمكن حسابه من قسمة أقصى قوة قص على مساحة مقطع صندوق القص kN / m^2

ـ ملاحظة:

يرسـم المخطـط (τ_f ،σ_f) للـتربة الغضـارية، المشـابه للشـكل ()، نـرى أن الخـط المسـتقيم الممثل للعلاقة، يقطع المحور الشـاقولي (τ_f) عند ترتيب يسـاوي مقدار التماسـك τ.

4.5.8.1 تسجيل النتائج:

تسـجل النـتائج كمـا فـي الجدول (8.1 .1). من الأفضل إجراء ثلاثة تجارب على ثلاثة عينات من نفس التربة وعـند نفـس الكـثافة وذلـك تحت تأثير ثلاثة أحمال شـاقولية مختلفة ثم تحدد قوة التماسـك لكل عينة ويؤخذ متوسـط القيم الثلاثة .

المشـروع: رقم العينـة:
المـوقع: عمق العينـة:
رقم العينة: وصف التربة:
أبعاد صندوق القص :الطول x العرض: الارتفاع:
حجم عينة التربة المختبرة: الحمل العمودي: الإجهاد العمودي:
رقم حلقة الاختبار المسـتخدمة: معامل المعايرة للحلقة:

جدول رقم (1.8.1) ـ نتائج تعيين معاملات مقاومة القص للتربة غير المتماسـكة

الزمن بالدقيقة	قراءة مقياس الإزاحة الأفقية (مم)	إزاحة القص (مم)	قراءة مقياس الإزاحة الرأسـية (مم)	الإزاحة الرأسـية	قراءة حلقة مقياس القص	قوة القص kN	اجهاد القص kN / m^2

المشـروع: رقم العينـة:
المـوقع: عمق العينـة:
رقم العينة: وصف التربة:
أبعاد صندوق القص = الطول x العرض: العمق:
حجم عينة التربة المختبرة: الحمل العمودي:
رقم حلقة الاختبار المسـتخدمة: الإجهاد العمودي:
محتوى الرطوبة قبل القص %: معامل المعايرة للحلقة:
محتوى الرطوبة بعد إجراء القص %

جدول رقم (2.8.1) نتائج تعيين معاملات مقاومة القص للتربة الغضارية المشبعة

الزمن بالدقيقة	قراءة مقياس الإزاحة الأفقية (مم)	إزاحة القص (مم)	قراءة مقياس الإزاحة الرأسية (مم)	الإزاحة الرأسية	قراءة حلقة مقياس القص	قوة القص kN	اجهاد القص كيلو نيوتن / $م^2$

التجربة 9.1 ...

تعيين الكثافة الحقلية الجافة للتربة في الموقع

Density of soil in place by the sand-cone method
(ASTM- D 1556-90)

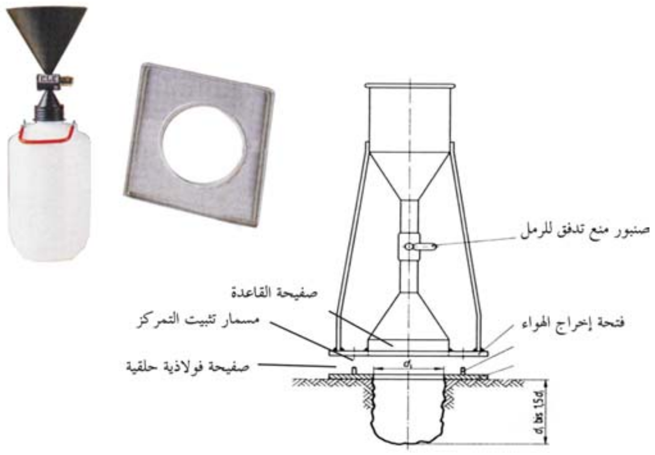
1.9.1 الغرض من الاختبار: Scope

الغرض من هذا الاختبار هو تعيين الكثافة الجافة في الموقع وذلك بطريقة الإحلال بالرمل باستخدام أسطوانة السكب. تستخدم هذه الطريقة في تعيين الكثافة الكلية لطبقة مرصوصة من التربة المتوسطة الحبيبات لا تتجاوز سماكتها 15 سم.

2.9.1 مراحل التجربة: Experimental Steps

1.2.9.1 الجهاز:

أسطوانة سكب كما في الشكل رقم 1.9



الشكل رقم 1.9.1 ـ قمع مضاعف مع الصفيحة الفولاذية الحلقية

- أدوات حفر مناسبة لعمل حفرة صغيرة مخروطية بالتربة، مثل ملعقة منثنية أو ما يماثلها، وأداة تسوية مماثلة .
- وعاء معايرة أسطواني معدني قطره الداخلي 10 سم وعمقه 15 سم، مثل (1.9) وعاء مجهز بشفة بعرض 5 سم وسمك 4.5 مم محيطة بالنهاية المفتوحة للاسطوانة، ويلاحظ أن عمق الاسطوانة محدد باعتبار أنه يماثل عمق حفرة التربة المستخدمة لتعيين الكثافة، فإذا اختلف عمق الحفرة عن 15 سم يجب استخدام وعاء قياسي مماثل لعمق الحفرة.
- ميزان تبلغ دقة قياسه للأوزان 1 غرام.
- لوح زجاجي مربع طول ضلعه 45 سم بسماكة 9 مم على الأقل.
- صينية معدنية أو وعاء لاستيعاب التربة المحفورة (المقاس المناسب بقطر حوالي 30 سم، وارتفاع حوالي 4 سم).
- قاطع أسطواني من الحديد بارتفاع 13سم وقطر داخلي 10سم وسمك الجدار 3 مم إحدى نهايتيه مدببة. يطلى القاطع بطبقة من الشحم الرقيق.
- أجهزة وأدوات لتعيين محتوى الرطوبة.
- صينية معدنية مربعة ضلعها 30سم وارتفاعها 4 سم، في مركزها فتحة بقطر 10 سم.

2.2.9.1 المواد:

رمل نظيف خالي من المواد العضوية منتظم الحبيبات (يمر من منخل مقاس فتحته 0.6 مم ويحجز على منخل مقاس فتحته 0.3 مم). يجفف الرمل ويحفظ لمدة سبعة أيام لاتزان محتوى رطوبته مع الجو. يجب عدم حفظ الرمل في وعاء يمنع دخول الهواء، كما يجب خلطه جيداً قبل الاستخدام.

3.2.9.1 معايرة الجهاز:

1.3.2.9.1 تعيين وزن الرمل الذي يملأ مخروط اسطوانة السكب.

ـ تملأ اسطوانة السكب بالرمل، بحيث يكون منسوب أعلاه أقل بحوالي 12 مم من الحافة العلوية للأسطوانة، ويعين الوزن الكلي لها (m_1)، يبقى هذا الوزن ثابتاً خلال الاختبارات الخاصة بالمعايرة، ثم توضع اسطوانة السكب على اللوح الزجاجي، ويفتح الصنبور بحيث يسمح للرمل بالمرور من اسطوانة السكب. يجب عدم طرق أو صدم أو هز الاسطوانة أثناء ذلك. عند توقف الرمل عن الاندفاع من الاسطوانة، يغلق الصنبور وتنقل الاسطوانة بعناية، ثم توزن لتعيين الرمل الذي ملأ المخروط بدقة غراماً واحداً.

ـ تعاد الخطوة السابقة، ثلاث مرات على الأقل، لحساب متوسط وزن الرمل الذي يملأ المخروط وليكن (m_2).

2.3.2.9.1 تعيين حجم وعاء المعايرة:

يوضع وعاء المعايرة على كفة الميزان، بحيث يكون الطرف العلوي للوعاء أفقياً. يمكن تحقيق ذلك بغمس قاعه في مادة صلصالية، و ما يماثلها، ثم يوزن الوعاء، وأي صلصال استعمل إلى أقرب غرام (m_5). يملأ الوعاء بالكامل بالماء مع أخذ الاحتياط بعدم سيلان ماء على كفة الميزان أو خارج الوعاء. توضع مسطرة على الحافة العلوية للوعاء، ويصب الماء ببطء وبعناية بواسطة قضيب تنقيط إلى أن يلمس الماء حافة المسطرة. ترفع المسطرة، ويسجل وزن الوعاء والماء إلى أقرب 1غ (m_6). تكرر هذه العملية عدة مرات للحصول على قيمة دقيقة متوسطة للوزن (m_6) ويحسب حجم وعاء المعايرة من المعادلة:

$$V = m_6 - m_5$$

3.3.2.9.1 تعيين الكثافة الكلية للرمل (γs):

ـ يعير الحجم الداخلي لوعاء المعايرة V بالسنتيمتر المكعبة كما في 2.3.2.9.1

ـ توضع اسطوانة السكب فوق وعاء المعايرة، بحيث يكون محورها الرأسي منطبقاً مع مركز الوعاء، وذلك بعد ملأ الاسطوانة للوزن الثابت (m_1). يفتح صنبور اسطوانة السكب ليسمح بمرور الرمل منها، ويجب، أثناء ذلك عدم طرق أو هز الاسطوانة. وعندما يلاحظ توقف خروج الرمل من الاسطوانة، يغلق الصنبور، وتوزن اسطوانة السكب إلى أقرب غرام.

ـ تعاد الخطوة السابقة ثلاث مرات على الأقل ويؤخذ الوزن المتوسط (m_3).

يجب إعادة المعايرة كل يوم، على الأقل، وذلك لاحتمال تغير نسبة الرطوبة في الجو، كذلك احتمال التغير الطفيف في تدرج وشكل حبيبات الرمل المستخدم في المعايرة.

4.2.9.1 تعيين كثافة التربة:

ـ تنظف مساحة من التربة المراد اختبارها على شكل مربع طول ضلعه حوالي 45سم، وتسوى بحيث تكون مستوية ويفضل أن يتم ذلك باستخدام أداة تسوية.

ـ توضع الصينية المعدنية على المنطقة المجهزة من التربة بحيث تكون الفتحة التي في مركزها فوق المنطقة من التربة المراد اختبارها. تنفذ حفرة بالتربة بحيث تكون محددة بالفتحة التي في الصينية ويراعى عدم ترك مواد مفككة في الحفرة كما يراعى أثناء الحفر عدم توسيع الحفرة عما يجب أثناء تسوية جوانبها.

ـ يدفع القاطع بانتظام في التربة، حتى تصبح نهايته العليا في منسوب السطح الذي تم تسويته للتربة، ثم تحفر التربة بداخله إلى عمق 11 سم باستخدام أدوات مناسبة. وتجمع التربة وتوزن إلى أقرب غرام (m_w). يترك القاطع الأسطواني مكانه أثناء إجراء بقية الاختبار.

ـ توضع عينة ممثلة للتربة المحفورة في وعاء غير منفذ للهواء، ويعين محتوى الرطوبة لها (w%). وذلك حسب الطريقة المشروحة سابقاً، ويمكن كطريقة مرادفة تجفيف العينة المستخرجة من الحفرة بكاملها ووزنها (m_d).

ـ توضع اسطوانة السكب وبها الرمل، بحيث يكون وزنها هو الوزن الثابت (m_1)، وبحيث تكون قاعدتها متمركزة مع الحفرة. ثم يفتح صمام اسطوانة السكب ويسمح للرمل الذي بداخلها بالمرور وملأ الحفرة. ويراعى عدم هز الاسطوانة أو المنطقة التي حولها خلال هذه الفترة. عندما يتوقف خروج الرمل يغلق الصمام وترفع اسطوانة السكب وتوزن إلى أقرب غرام (m_4). ومن الضروري إجراء الاختبار بالحقل عدة مرات للتأكد من أن كثافة التربة ثابتة لدرجة مناسبة من الدقة.

5.2.9.1 الحسابات:

ـ يحسب وزن الرمل الذي يملأ وعاء المعايرة (m_a) من العلاقة الآتية:

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3$$

حيث:

m_1 ـ وزن اسطوانة السكب بالرمل قبل سكبه في وعاء المعايرة بالغرام.

m_3 ـ الوزن المتوسط لاسطوانة السكب بالرمل بعد السكب في وعاء المعايرة بالغرام.

m_2 ـ الوزن المتوسط للرمل الذي يملأ المخروط بالغرام.

ـ تحسب الكثافة الشاملة للرمل (γs) من المعادلة الآتية:

$$\gamma_s = \frac{m_a}{V}$$

V ـ حجم وعاء المعايرة.
ـ يحسب وزن الرمل الذي يملأ الحفرة (m_b) من العلاقة الآتية:

$$m_b = m_1 - m_4 - m_2$$

حيث:
m_1 ـ وزن اسطوانة السكب مع الرمل قبل سكبه بالحفرة بالغرام.
m_4 ـ وزن اسطوانة السكب مع الرمل الباقي بعد السكب بالحفرة بالغرام.
m_2 ـ الوزن المتوسط للرمل الذي يملأ المخروط بالغرام.
ـ تحسب الكثافة الكلية للتربة (ρ) من المعادلة الآتية:

$$\gamma = \gamma_s \times \frac{m_w}{m_b}$$

حيث:
m_w ـ وزن التربة المحفورة بالغرام.
m_b ـ وزن الرمل الذي يملأ الحفرة بالغرام.
γ_s ـ الكثافة الشاملة للرمل غ/سم^3.
ـ تحسب الكثافة الجافة (γ_d) من العلاقة الآتية:

$$\gamma_d = \frac{100 \cdot \gamma}{w + 100}$$

حيث:
w ـ محتوى الرطوبة للتربة × 100.
أو:

$$\gamma_d = \frac{m_d}{m_b} \times \gamma_s$$

حيث:
m_d ـ وزن التربة الجافة بالحفرة بالغرام.
m_b ـ وزن الرمل الذي يملأ الحفرة بالغرام.

6.2.9.1 تسجيل النتائج:

ـ الكثافة الجافة للتربة إلى أقرب 0.01 طن/ م^3.
ـ النسبة المئوية للرطوبة بالتربة إلى أقرب رقمين صحيحين.
يجب تسجيل طريقة إجراء الاختبار، كأن يذكر مثلاً أنه تم استخدام اسطوانة السكب الصغيرة.

7.2.9.1 ملاحظة:

ـ توجد اسطوانات سكب كبيرة، تستخدم في حالة احتواء التربة على كسر الأحجار أو الزلط الكبير سواء إذا كانت طبيعية، أو مرصوصة، وكذلك للتربة الناعمة أو المتوسطة الحبيبات، إذا كانت سماكة الطبقة المراد تعيين كثافتها تزيد عن 150 مم وتقل عن 250 مم.
ـ الأجهزة المستعملة مع اسطوانة السكب الكبيرة، لا تختلف عن الأجهزة السابق شرحها في طريقة أسطوانة السكب الصغيرة، عدا أن الصينية المعدنية ذات الثقب في وسطها تكون بمقاسات 45 × 45 × 5 سم، كما أن الثقب في وسطها بقطر 20 سم.
ـ الطريقة التي تستعمل لاسطوانة السكب الكبيرة، لا تختلف عن الطريقة السابق شرحها لاسطوانة السكب الصغيرة.
ـ عندما يصعب استخدام اسطوانة السكب الصغيرة أو الكبيرة لتعيين الكثافة، يمكن استخدام مجرفة يدوية بطول 20 سم وعرض 12 سم.

التجربة 10.1 ...

اختبار تحديد الكثافة الجافة العظمى (بروكتور) بدلالة الرطوبة
The Method for Laboratory compaction
Characteristics of Soil
(ASTM- D 698- 91, DIN 18 127)

1.10.1 التجربة وتجهيزاتها: Test of Apparatus

تستخدم هذه التجربة في كل من أعمال التربة والتأسيس والطرقات.
الغاية من التجربة هي: إيجاد العلاقة التي تربط، بين الكثافة الجافة للتربة، والتي تتشكل تحت طاقة رص ثابتة ورطوبة متغيرة للتربة. حيث تفيدنا التجربة لإيجاد الكثافة الجافة العظمى γ_{dmax} التي من الممكن الوصول لها بفعل عمليات الرص في الموقع. كما تمكننا التجربة من معرفة الرطوبة التي يجب أن تكون التربة عليها عند الرغبة في الوصول لهذه الكثافة العظمى في الموقع بفعل عمليات الرص.

2.10.1 تعاريف: Definitions

1.2.10.1 الرص:

ويقصد به زيادة الكثافة الجافة للتربة (تقليل فراغات التربة) عن طريق الرص بفعل قوى ديناميكية.

2.2.10.1 تجربة بروكتور:

وهي تجربة مخبرية يجرى بها رص التربة عن طريق سقوط وزن ثابت ضمن اسطوانة فولاذية بمقاييس ثابتة محددة بحيث يبقى العمل اللازم للرص ثابتاً. يجرى هذا الرص بطريقة أصولية متعارف عليها. تتألف التجربة من خمسة تجارب جزئية تختلف عن بعضها البعض بالرطوبة. نتيجة للتقييم الناتج نحصل على منحني يربط بين كل من الرطوبة w والكثافة الجافة ($\gamma_{proctor}$) لرطوبة المثالية ($W_{optimum}$)
تجرى التجربة على كل من الترب الناعمة، الخليطة والخشنة حيث تشمل في الترب الناعمة أنواع الترب سواء أكانت ذات خواص لدنة أو غير ذلك.

3.2.10.1 كثافة بروكتور:

وهي الكثافة النظامية التي نصل إليها نتيجةً لرص التربة بالأدوات الموافقة المذكورة في الجدول رقم 1.3.2.10.1 التالي. وفقاً للفقرة المبينة أدناه، تبلغ قيمة العمل اللازم لرص واحدة الحجم $W = 0.6\ MN.\ m / m^3$

الجدول 1.10.1 ـ تحديد كثافة بروكتور النظامية

شروط التجربة		قياسات ووزن الأسطوانة الساقطة				اسطوانة الاختبار وفق الشكل 1.10.1			
عدد الطبقات	عدد الضربات لكل طبقة	الوزن الساقط كغ	h_2	d_2	نموذج	S_1	a	h_1	d_1
3	25	2.5	300	50	A	11	7.5	120	100
3	22	4.5	450	75	B	14	9.0	125	150
3	22	15	600	125	C	20	14	200	250
الانحراف الأعظمي المسموح $\pm 0.004.h_2$ و $\pm 0.004.m$									

الجدول 2.10.1 ـ تحديد كثافة بروكتور المعدّلة.

عدد الطبقات	عدد الضربات لكل طبقة	الوزن الساقط كغ	h_2	d_2	نموذج	S_1	a	h_1	d_1
ظروف التجربة		قياسات ووزن الأسطوانة الساقطة				اسطوانة الاختبار وفق الشكل 1.10.1			
5	25	4.5	450	50	A	11	7.5	120	100
5	59	4.5	450	75	B	14	9.0	125	150
5	98	15	600	125	C	20	14	200	250
الانحراف الأعظمي المسموح: $\pm 0.004.h_2$ و $\pm 0.004.m$									

أما تجربة بروكتور المعدلة فتجرى بطاقة رص قدرها $W = 2.7\ MN.m/m^3$ وباستخدام الأدوات الموافقة المبينة في الجدول رقم 10.1 .2.

4.2.10.1 الرطوبة الثابتة:

إن الرطوبة المثالية سواء من تجربة بروكتور النظامية W_{opt}، أو المعدّلة، هي الرطوبة التي إذا ملكتها العينة أمكن الوصول إلى الكثافة الجافة العظمى المعدّلة بفعل الرص.

5.2.10.1 درجة الرص:

تعطى درجة الرص بالعلاقة:

$$D_{pr} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{pr}}$$

حيث:

γ_d ـ الكثافة الجافة g/m^3.

γ_{pr} ـ وهي الكثافة الجافة العظمى المخبرية التي توصلنا إليها.

تعطى γ_d بالعلاقة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

حيث:

γ ـ الوزن الحجمي.

W ـ الرطوبة.

3.10.1 التجهيزات: Apparatus

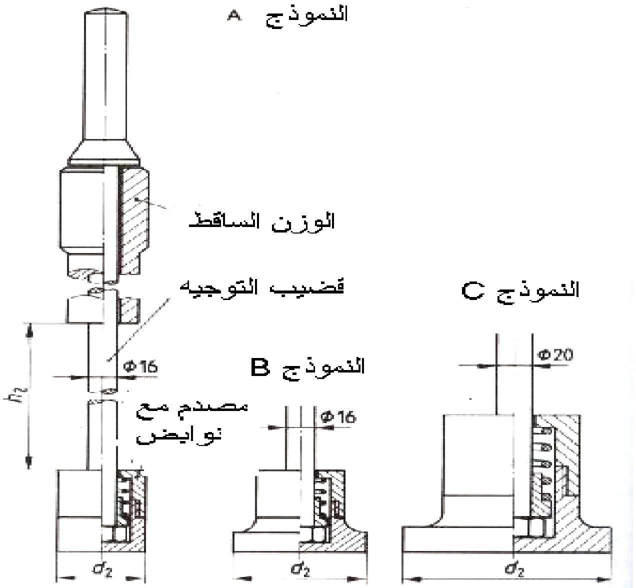
أسطوانة معدنية مع اسطوانة وصل متممة (لا يجوز أن يقل ارتفاعها عن 50 مم) توضع فوق الأسطوانة الأولى. إضافة لذلك فهناك صفيحة قاعدة من الفولاذ يمكن إزالتها حيث يتوجب أن يكون سطحها محمي من الصدأ.

يمكن لجهاز الرص أن يكون يدوياً أو آلياً. يتألف جهاز الرص من حلقة فولاذية تسقط حول قضيب موجَّه على المصدم المؤلف من صفيحة داخلها نوابض (غير مرئية) يرتد بدوره على سطح التربة المصدومة. توضع الأسطوانة مع التربة الموجودة بداخلها على كتلة من البيتون لا يقل وزنها عن50 كغ، وذلك إذا كان الرص يجرى يدوياً.أما إذا كان الرص يجرى آلياً فيسقط الوزن على سطح عينة التربة مباشرة وليس على المصدم كما في التجربة ذات الرص اليدوي.

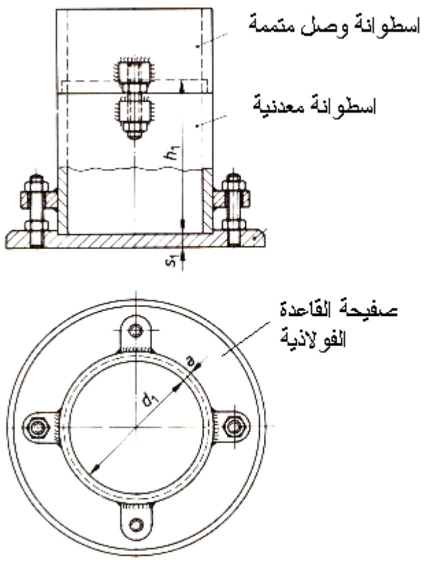
وفقاً للشكل رقم 1.10.1 والجدول 1 يتم تغيير كل من الوزن الساقط وارتفاع السقوط تبعاً لقطر الأسطوانة. يجب أن تَحْمِل القاعدة الصلبة التي توضع عليها الأسطوانة وزناً لا يقل عن 50 kg كذلك يلزم كل مما يلي:

- ميزان بدقة 0.01 غ للكتلة المرصوصة.
- حوض لخلط التربة تختلف أبعاده وفقاً لوزن التربة المختبرة.
- مشحاف أو ما يشابهه لتحريك التربة في حوض الخلط.
- مجرفة صغيرة.
- مناخل رقم 4.
- مدق خشبي.

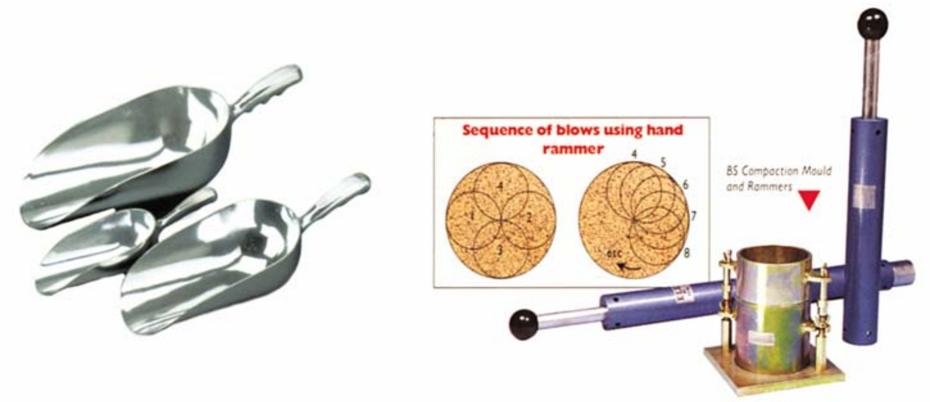
ـ صفيحة معدنية مع قبضات للتحريك.
ـ سكين للتسوية.
ـ عجانة يدوية (أسطوانة ملساء).
ـ أسطوانة قياس حجم 250 سم ^{3}



الشكل 1.10.1 ـ أنواع المطارق المستخدمة في تجربة بروكتور.



الشكل 2.10.1 ـ الاسطوانات التي توضع بها العينة مع صفيحة القاعدة.



الشكل 3.10.1 ـ تجهيزات بروكتور وفق النظام البريطاني.

4.10.1 تجهيزات قياس الرطوبة: Apparatus for Measuring Moisture Content

1.4.10.1 شروط التجربة:

تجرى تجربة الرص في اسطوانة يتم اختيار قطرها وفقاً لأقطار العينات التي تجرى عليها تجربة الرص.
عند إجراء الرص الآلي لابد للاسطوانة أن تتوضع مع صفيحة فولاذية ذات سماكة لا تقل عن 3 سم وثابتة في موقعها. أما إذا كان الرص يدوي فتوضع على كتلة بيتونية لا يقل وزنها عن 50 kg مثبتة في موقعها.

2.4.10.1 كمية التربة اللازمة للتجربة والقطر المسموح للحبيبات:

تتعلق كميات التربة اللازمة للتجربة بالقطر الأعظم للحبيبات المراد إجراء التجربة عليها وبقطر اسطوانة بروكتور المراد إجراء التجربة عليها كذلك.
يجب أن يبلغ حجم العينة المرصوصة ضعفين إلى أربعة أضعاف حجم الأسطوانة الجاري أعداد التجربة فيها.
كذلك فإنه يتوجب أخذ طريقة قياس رطوبة العينات كما هو وارد في التجربة 1.1 من هذا الدليل.
في حال كون حبيبات التربة قابلة للتكسر بفعل عملية الطرق أثناء إجراء التجربة، فيجب أخذ ذلك بعين الاعتبار عند اختيار كميات التربة بحيث لا تجرى على الكمية نفسها إلا تجربة واحدة، يبين الجدول التالي العلاقة التي تربط بين كمية التربة اللازمة، والقطر الأعظم المسموح للحبيبات، وقطر الأسطوانة التي تجرى بواسطتها التجربة:

لجدول 10.13. ـ كمية التربة لكل تجربة والقطر الأعظمي المسموح

القطر الأعظمي المسموح للحبيبات (مم)	الكمية الدنيا للتربة كغ	قطر الأسطوانات
20	3	100
63.5	30	250
31.5	6	15

يعطى هذا الجدول القطر الأعظم الممكن للاسطوانة تبعاً لأصغر قطر مسموح به للحبيبات.
إن فرز العينات ذات القطر الزائد لا يجوز إلا في الحالة التي يكون فيها قطر الأسطوانة $d_1>150mm$.

3.4.10.1 تحضير العينة:

1.3.4.10.1 تنفيذ التجربة:

تجفف الترب الخشنة المفككة والتي لا تملك أية لدونة عند درجة حرارة 105 C° حتى يصبح وزنها ثابتاً، بينما تجفف التربة الناعمة اللدنة حتى تصل رطوبتها بين حدي التقلص واللدونة، وهذه الحالة هي التي تصبح بها التربة قابلة للتكسر بالضغط بالمشحاف، في هذا التجفيف لا يجوز أن ترتفع درجة الحرارة عن 60 °م، يجب أن يجري خلال التجفيف خلط التربة عدة مرات. بعد التجفيف يجرى تصغير كتل التربة المتفرقة باستعمال أحد الأدوات التالية، أو ما يشابهها بالضغط عليها: سكين، مشحاف مع مجرفة.. الخ.
أما الترب الخشنة التي تملك شيئاً من اللدونة، فيجرى تجفيفها حسب الفقرة التالية:

2.3.4.10.1 تحضير عينات التربة الخشنة:

يتوجب فصل الحبيبات ذات الأقطار الأكبر من 63.5 - 31.5 مم عن العينة في التربة الخشنة والترب الخليطة (تحوي ترب ناعمة سيلت وغضار إضافة لمحتواها الرئيسي من البحص والرمل). في الترب الخشنة التي لا تملك خاصة اللدونة، يتم فصل العينات بالنخل بعد تجفيف كامل العينة.

يتوجب في التربة التي تملك خاصة اللدونة، أن تفصل هذه الحبيبات يدوياً، بعد التجفيف بغسل العينة على المنخل، حيث يجري بعد ذلك عزلها وتجفيفها ووزنها.

في حال كون نسبة وزن الحبيبات الزائدة ذات القطر d > 31.5 mm أكبر من 35%، فإنه يتوجب استخدام اسطوانة ذات قطر يبلغ 250 مم. عند إجراء تقييم لنتائج التجربة فإنه يتوجب أن يتم تصحيح النتائج وفقاً للفقرة التالية:

عند إجراء التجربة لأول مرة للترب الناعمة، فإنه يتوجب أن تقع الرطوبة تحت حد اللدونة بشكل كافي.

ـ ملاحظة:

في حال وجود ترب ناعمة، فإنه يمكن الاستفادة من حد اللدونة، لإيجاد قيمة الرطوبة المثالية.

أما بالنسبة للعينات التالية، فإنه يتوجب أن ترفع نسبة الرطوبة لاستخدام العينة بمقدار 2 إلى 3% في كل مرة حيث يتوجب استخدام ماء مقطر لترطب العينة بشكل متجانس قبل إجراء التجربة.

في التربة الخشنة التي لا تملك خاصة اللدونة، فإنه يكفي أن تترك العينة مغطاة لمدة عشرة دقائق بعد ترطيبها لتحقيق التجانس، حيث يجري بعد ذلك خلطها. يتوجب أن يتم تصغير حجوم كتل التربة التي تملك خاصة اللدونة وذلك بواسطة الضغط بأحد الأدوات المعدنية مثل: سكين، مشحاف، مجرفة.. الخ حيث يتوجب أن تخلَّط وتقلَّب عدة مرات بعد ترطيبها، ولا يجوز أن يتجاوز قطر أصغر حبة 10 مم.

أما بالنسبة للترب العالية اللدونة، فيتوجب الانتظار 24 ساعة عند حفظ العينة في أوعية مغلقة لضمان تجانسها، وبسبب تشكل كتل مختلفة الأحجام من هذه الترب الناعمة أثناء تحضيرها تكون الانحرافات في نتائج التجارب أعلى من انحرافات النتائج في الترب الأخرى.

5.10.1 طرائق تحديد نسبة الرطوبة:

Methods for Determination Percentage of Moisture Content

1.5.10.1 تحديد الرطوبة من خلال وزن كل عينة على حدة قبل الرص

تعطى لكامل العينة المجففة ذات الوزن m_d كمية الماء اللازمة لتحقيق الرطوبة المنشودة لتجربة الرص.

يجري بعد ذلك وزن كامل العينة الرطبة حيث يتم تحديد وزن الماء بالعلاقة التالية:

$$m_w = m - m_d$$

حيث:

m_w ـ وزن الماء.

m ـ وزن كامل العينة.

m_d ـ الوزن الجاف للعينة.

يجرى هذا بعد تحضير التربة كما ورد في الفقرة 3.2.4.10

عند إجراء التجربة التالية يتم إضافة الماء كما ورد في المقطع 2.3.4.10.1 حيث يتم تحديد الرطوبة بنفس الطريقة يجب أن تقع حدود الانحراف في النتائج في المجال:

$$\Delta w = \pm 0.05 w$$

عند تحديد الرطوبة بهذه الطريقة، لا يجوز أن نسمح بفقدان أية كمية من التربة. كما أنه لا يجوز أن يخرج ماء من اسطوانة الرص.

2.5.10.1 تحديد الرطوبة بعد الانتهاء من تجارب الرص كافة:

يمكن تحديد الرطوبة بعد انتهاء عملية رص كل تجربة، لتحقيق ذلك، يلزم معرفة وزن الكتلة الرطبة لكامل العينة بعد كل تجربة، ومعرفة الوزن الجاف بتجفيف كامل العينة، بمعرفة الفرق بين الوزن الرطب لكامل الكتلة والوزن الجاف لكامل العينة يمكن معرفة وزن الماء m_w لكامل العينة، أما الرطوبة فتحدد بالعلاقة:

$$w = \frac{m_w}{m_d}$$

حيث:

m_d ـ الوزن الجاف لكامل الكتلة.

لا يجوز أن تتجاوز الفروقات بين نتائج الرطوبات:

$$\Delta w = \pm 0.05 w$$

عند قياس الرطوبة بهذه الطريقة يتوجب على العينات أن لا تفقد أجزاءً منها كما لا يجوز للماء أن يتسرب خارج اسطوانة التجربة.

3.5.10.1 تحديد الرطوبة على عينات جزئية لترب ناعمة باستخدام التجفيف بالفرن:
يمكن عن طريق أخذ عينات جزئية من الترب الناعمة من كامل ارتفاع العينة المرصوصة من قطاع جانبي أن نحصل على رطوبة التربة بالطريقة المألوفة بواسطة التجفيف.

4.5.10.1 تحديد الرطوبة من خلال تجفيف كامل العينة المرصوصة بالأسطوانة:
في التربة الخشنة التي لا تملك خاصة اللدونة، لا يمكن تحديد الرطوبة بواسطة أخذ عينات جزئية بدقة كافية. في هذه الحالة لابد من قياس رطوبة كامل العينة عن طريق تحديد وزنها الجاف m_d بعد التجفيف بالفرن، وبالتالي تحديد وزن الماء mw بعد ذلك، تشترط هذه الطريقة أن تجرى كل تجربة على عينة جديدة، أي لا تعاد التجربة على العينة الواحدة مرتين.

6.10.1 تحديد كثافة بروكتور: Proctor Density Determination

1.6.10.1 تحديد كثافة بروكتور النظامية:
تثبت الأسطوانة مع صفيحة القاعدة على جسم ثابت. حيث يتم بعد ذلك وضع التربة في الأسطوانة على ثلاث طبقات متساوية الارتفاع بواسطة المجرفة. يجب الانتباه إلى أن العينة الجزئية لكل طبقة تمثل كامل التربة. يضغط السطح العلوي لكل طبقة بشكل خفيف بواسطة مدق خشبي حيث يجري رص كل طبقة حسب ما هو مذكور في الجدول رقم (1.10.1) من حيث جهاز الرص المختار وعدد الضربات. يجري الرص باختيار عدد الضربات الملائمة كما في الجدول (1.10.1) أما الضربات فيتوجب أن تنفذ على المحيط الخارجي للاسطوانة بحيث تتم على ثلاث أو أربعة دورات كما هو مبين في الشكل رقم ـ 3.10.1
يجب أن يجري رص الطبقات دون مرور فترات توقف طويلة بحيث يكون الزمن اللازم بين الطرقة والأخرى في حال كون مسافة السقوط b_2 مساوية 300 مم أو 400 مم مساوياً 2 ثانية أو 2.5 ثانية. بحيث تحقق هذه الضربات رصاً متجانساً للعينة.
عند طرق الطبقات بالجهاز اليدوي فإنه يجب التأكد من بقاء المطرقة شاقولية طول مدة التجربة وأن يترك الوزن ليسقط سقوطاً حراً من أعلى قضيب التوجيه الحامل للحلقة الساقطة.
يتم اختيار ارتفاع الطبقات التي يجري رصها بحيث تعلو كامل العينة المرصوصة الحد الأعلى للاسطوانة لتدخل مسافة قدرها 10 مم داخل الأسطوانة العليا الإضافية.
في حال كون التربة خشنة، لا تملك خاصة اللدونة، أو عندما تكون حبيبات التربة ذات تدرج حبي ضيق، أو حبيبات قوية ذات أحجام قريبة من بعضها البعض، فإن حبيبات التربة تندفع نحو أطراف الأسطوانة عند الرص، لمنع ذلك فإنه يتوجب وضع صفيحة أسطوانية فوق كل طبقة قبل رصها. أما الطرقات فيتم توزيعها بنفس الطريقة على باقي الطبقات، بعد رص كل طبقة تسحب الصفيحة نحو الأعلى عن طريق براغي مثبتة بها من الأعلى. بعد رص الطبقات كافة، تزال الأسطوانة العليا الإضافية ليجري إزاحة التربة الزائدة فوق مستوى اسطوانة الرص بعناية، حيث يتم تسوية ارتفاع العينة بواسطة مسطرة فولاذية.
في حال كون التربة التي يجري رصها خشنة، فيمكن الاستفادة من الأسطوانة الموضوعة فوق العينة، لتقدير الارتفاع الفعلي للعينة. بعد ذلك يجري قياس الوزن الكامل الأسطوانة، بما فيها التربة أي أنه لا حاجة لتسوية سطح العينة كما في الترب الناعمة، بعد انتهاء كل تجربة، تجرى تجارب أخرى بحيث لا يقل عدد مجموعة التجارب عن أربعة برطوبة متزايدة.

2.6.10.1 تحديد كثافة بروكتور المعدلة:
عند تعين كثافة بروكتور المعدلة يتم استخدام نفس الاسطوانة المستخدمة في تجربة بروكتور العادية. يتم رص التربة على طبقات يتراوح عددها بين 5-3 طبقات ذات سماكات متساوية.
أما جهاز الرص والمطرقة وعدم الضربات فيتم اختيارها بما يتوافق مع الجدول رقم 2.3.2.10.1.

7.10.1 تقييم النتائج: Results Evaluation

1.7.10.1 حساب الرطوبة:
يتم حساب الرطوبة لكل عينة جزئية باستخدام العلاقة التالية:

$$w = \frac{m_w}{m_d}$$

حيث:
mw ـ الوزن الرطب للعينة.
Md ـ الوزن الجاف للعينة.

2.7.10.1 حساب الكثافة الجافة:
يتم تحديد وزن العينة المرصوصة كما يتم تحديد حجم العينة بالقالب بدقة:

$$\Delta V = 0.001 .V$$

حيث يحسب الوزن الحجمي بالعلاقة:

$$\gamma = \frac{m}{v} \quad \text{غ / سم}^3$$

حيث:
m ـ وزن العينة بالغرام.
V ـ حجم العينة بالسم^3.
أما الكثافة الجافة فتحسب بالعلاقة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad g / cm^3$$

3.7.10.1 تصحيح نتائج القياس باعتبار الحبيبات الكبيرة الزائدة:

عند بلوغ نسبة الحبيبات ذات القطر d > 31.5 - 63mm حتى القيمة 35% من الوزن الجاف الكامل البنية، فيتوجب تصحيح نتائج الاختبارات، وإلا أعطت التجربة قيمة منخفضة للكثافة الجافةγ_d وقيمة كبيرة للرطوبة أما تأثير الحبيبات الكبيرة الزائدة:

$$u = \frac{m}{m_d}$$

فيمكن أخذ تأثيره بعين الاعتبار باعتماد العلاقات التالية.

$$w' = w \cdot (1 - w) + w_u \cdot u$$

$$\gamma'_d = \gamma_d \cdot (1 - u) + 0.9 \cdot u \cdot \gamma_{su}$$

حيث:
w' ـ الرطوبة المصححة للعينة.
w ـ رطوبة العينة بعد استبعاد العينات الكبيرة الزائدة.
m_d ـ وزن العينة الكاملة الجافة بما فيها العينات الكبيرة الزائدة.
u ـ نسبة العينات الكبيرة الزائدة.
m_u ـ الوزن الجاف للعينات الكبيرة الزائدة.
w_u ـ رطوبة العينات الكبيرة الزائدة.
γ'_d ـ الوزن الحجمي الجاف المصحح للعينة.
γ_dـ الوزن الحجمي الجاف للعينة دون حبيبات كبيرة زائدة.
γ_{su} ـ الوزن النوعي الجاف للحبيبات الكبيرة الزائدة.

تتراوح رطوبة الحبيبات الكبيرة الزائدة بين (0.01 إلى 02. 0) أما إذا كانت الحبيبات ذات مسامية عالية، فيتوجب تحديد الرطوبة بالتجربة.

عند قياس الكثافة الحقلية، فإنه يتوجب دوماً استبعاد الحبيبات الكبيرة، من خلال هذه الزوائد، يتوجب في كل مرة تصحيح قيم نتائج التجارب المخبرية كما ذكرنا أعلاه.

4.7.10.1 تمثيل نتائج الاختبار:

تمثل النتائج γ_d و γ'_d كذلك الرطوبة `w و w بمراعاة النقاط المختلفة. يرسم المنحني بحيث يحقق أكبر انفراج ممكن (منحني بروكتور) وبذلك يمثل المنحني العلاقة بين الرطوبة والكثافة الجافة $\gamma_d = f\ (w)$ للعينة المختبرة.

ينتهي هذا المنحني بأعلاه بقيمة γ_d العظمى ثم يبدأ بعد ذلك بالتناقص بحيث يصبح الجزء الهابط من المنحني موازٍ لخط الإشباع الذي تكون به رطوبة التربة 100%. تسمى الكثافة الجافة بكثافة بروكتور γpr أما الرطوبة الموافقة المثالية فتسمى Wpr تعطى الكثافة الجافة بدقة 0.01 غ / سم^3. أما الرطوبة فتعطى بدقة 0.001 سواء كانت للرمل أو للبحص.

إن تحديد الرطوبة المثالية للترب الخشنة ذات التدرج الحبي الضيق هو أمر غير ممكن.

تعتبر كثافة بروكتور في هذه الترب هي أعلى كثافة تم التوصل إليها بالتجارب الأربعة من التربة الرطبة.
وكذلك لابد من تمثيل منحني الإشباع. يتعلق سير هذا المنحني بالوزن النوعي للتربة γ_s وتحسب بالعلاقة:

$$\gamma_d = \frac{(1 - n_a)\,\gamma_d}{1 + \dfrac{w\,\gamma_s}{\gamma_w}}$$

$$n_a = 1 - \gamma_d \left(\frac{1}{\gamma_s} + \frac{w}{\gamma_w}\right)$$

5.7.10.1 حساب درجة الرص:

يتوجب، عند إجراء المقارنة بين الكثافة الجافة الحقلية وكثافة بروكتور المخبرية، أن تجرى المقارنة على نفس التربة، أي على حبيبات لها نفس الأبعاد تقريباً، ونفس التدرج الحبي، عند وجود حبيبات كبيرة زائدة، فإنه يتوجب أن تصحح γ_d كما ورد في الفقرة 3.7.10.1، تعطى درجة الرص بدقة 0.01.

6.7.10.1 معطيات نتائج الاختبار:

1 ـ منحني بروكتور مع منحني الإشباع.
2 ـ كثافة بروكتور الجافة النظامية أو المعدلة.
3 ـ الرطوبة المثالية للتربة.
4 ـ نوع التربة أي تصنيف التربة مع قطر الحبيبات الأعظمي الزائدة.
5 ـ نسبة الحبيبات الكبيرة الزائدة.

8.10.1 أخطاء التجربة: Errors of Test

للحكم على مدى دقة النتائج وفقاً لهذا الدليل فإنه يتوجب اعتبار الأخطاء وفقاً للجدول التالي:

الجدول 4.10.1

رقم التجربة	اسم التجربة	σ_{R1}	σ_{R2}
1	كثافة بروكتور الجافة غ / سم^3	0.01	0.025
2	الرطوبة المثالية للترب الناعمة والخليطة	0.005	0.007
3	الرطوبة المثالية للترب الخشنة	0.005	0.017

σ_{R1} ـ الانحراف المعياري تحت نفس ظروف التجربة المكررة (أي نفس المخبر ونفس المحضرين المخبرين).
σ_{R2} ـ الانحراف المعياري تحت ظروف قابلة للمقارنة (والتجربة تجرى في مخابر مختلفة من قبل محضرين مخبرين مختلفين).

تصحح هذه الأخطاء للترب ذات التصنيف التالي Gw ,Gp والرمل ذي النسبة المرتفعة من السيلت والسيلت المنخفض اللدونة.

التجربة 11.1 ...

تعيين النواعم في التربة
باستخدام تجربة المكافئ الرملي
Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate
ASTM-D 2419-74

1.11.1 الغاية من التجربة: Scope

تعتبر هذه التجربة تجربة سريعة تساعد في تبيان نسبة الغضار الناعم أو المواد الناعمة في التربة.

2.11.1 الأجهزة والأدوات المستخدمة: Apparatus

ـ اسطوانة بلاستيكية مدرجة كل تدريجة قيمتها 0.1 إنش أو 2.5 مم.
ـ سدادة من المطاط، أنبوب تزويد بالمياه الصالحة للشرب.
ـ مجموعة ذات قاعدة بوزن محدد، وهي عبارة عن قضيب معدني في نهايته السفلى مخروط ارتكاز للاستناد على طبقة الرمل. وفي نهايته العليا اسطوانة ذات وزن معياري، وبينهما حلقة قياس تبعد عن أسفل مخروط الارتكاز 254 مم.
ـ مجموعة سيفون مجهزة بزجاجة سعة 4 ليتر من محلول كلوريد الكالسيوم توضع على رف أعلى من مستوي سطح العمل بمقدار 91.5 ± 2.5 سم.
ـ علبة مطلية بالقصدير بقطر57 مم تقريباً بسعة 85 ± 5 ميليلتر تقريباً.
ـ قمع مدخله عريض قطره 100 مم تقريباً.
ـ ميقاتية لقراءات بالدقائق والثواني.
ـ هزاز ميكانيكي خطوته (203.2 ± 10.2) مم، وتشغيله (175 ± 2.92) دورة في الدقيقة، كما في الشكل 1.11.1

ملاحظة (1):

يسبق الاستخدام ربط هزاز المكافئ الرملي الميكانيكي بشكل أمين إلى حامل أو إطار ثابت.

ملاحظة (2):

يفضل استخدام الهزاز الميكانيكي أو الهزاز الذي يعمل بطريقة نصف آلية عوضاً عن الطريقة اليدوية حيثما أمكن ذلك.

الشكل 1.11.1 ـ هزاز ميكانيكي.

ـ هزاز يعمل يدوياً نستطيع بواسطته الحصول على حركة اهتزازية بنسبة 100 دورة كاملة خلال 45 ± 5 ثانية، مع ضربة يدوية مساعدة على طول 127 ± 5.08 مم.

ـ يجب تثبيت الهزاز على حامل أو إطار ثابت بشكل أمين باستخدام براغي.
ـ محلول كلوريد الكالسيوم الأم: يجهز محلل كلوريد الكالسيوم الأم كما يلي:
1 ـ 454 غرام كلوريد الكالسيوم الانهدريتي.
2 - (1.64 ml) 2050 غليسرين USP.
3 - (45 ml) 47 غرام فورماالدهيد.

ـ التركيب:

ـ يحل كلوريد الكالسيوم في 1.89 ليتر من الماء المقطر، ثم يبرد المحلول ويصفى من خلال ورقة ترشيح سريعة. ويضاف الغليسرين والفورماالدهيد إلى المحلول المرشح ويخلط جيداً ويكمل إلى 3.79 ليتر بالماء المقطر.
ـ محلول كلوريد الكالسيوم العملي:
يجهز كلوريد الكالسيوم العملي بتعبئة علبة قياسية واحدة مليئة (85 ± 5) مليللتر من محلول كلوريد الكالسيوم الأم إلى (3.79) ليتر بالماء. يستعمل ماء مقطر لتجهيز المحلول العملي، وإذا ما تقرر أن مياه الصنابير المحلية من الصفاء بحيث لا تؤثر على قيم الاختبار، فيمكن استخدامها عوضاً عن الماء المقطر.
ـ مسطرة مناسبة لإبعاد التربة الزائدة من علبة القياس.
ـ فرن تجفيف ذو تحكم حراري آلي لتثبيت حرارة في درجة 110 ± 5 ° م.

3.11.1 التحكم في ظروف التجربة: Control of Test Condition

يجب أن يحافظ المحلول العملي على درجة حرارة 22 ± 3 ° م خلال إجراء التجربة.

4.11.1 تحضير العينة: Preparation of Sample

1 ـ تجرى تجربة المكافئ الرملي على تربة أو مواد حصوية متدرجة ومارة من المهزة 4.75 مم (No4).
تسحق الحبيبات الناعمة المتراكمة من التربة لتمر من المنخل 4.75 مم، وتنظف الجزيئات المحجوزة على المهزة 4.75 مم من النواعم، وتضاف النواعم المارة من المنخل 4.75 مم. على أن لا يقل وزن العينة الأصلي قبل النخل عن 1000 إلى 1500 غ.
2 ـ تقسم العينة الأولية بشكل كاف لينتج ما يكفي أربعة علب سعة 85 ميلليتر من المواد المارة من المنخل 4.75 مم، ويجب إجراء التقسيم بعناية للحصول على جزء يمثل حقاً العينة الأصلية.
3 ـ يتم تجهيز العينة من القسم المار من المنخل رقم (4) حسب أحد الطريقتين التاليتين:

أولاً ـ طريقة التعاقب رقم (1) ـ التجفيف الهوائي:

تقسم بالشطر والتربيع كافة المواد المارة من المهزة 4.75 مم لإملائها في علبة القياس (85) ميليللتر بحيث تزيد قليلاً حول الحافة العليا.
عند إملاء العلبة، يدق أسفل العلبة على طاولة العمل، أو بأي سطح قاس آخر، لضغط المواد والسماح لأكبر كمية بالتوضع داخل العلب، ثم يسوى السطح المملوء في العلبة بواسطة مسطرة.

ثانياً ـ طريقة التعاقب رقم (2) الترطيب المسبق:

يجب أن تحقق العينة شرط الرطوبة الصحيحة للحصول على نتائج جديرة بالاعتماد. ويحدد شرط الرطوبة بوضع جزء صغيرة من العينة المخلوطة كلياً على راحة اليد وعصرها بشدة.
إذا سُمح بتشكيل قالب، بمعالجة حذرة دون كسر، حصلنا بذلك على مجال الرطوبة الصحيح.
إذا كانت المواد جافة جداً فإن القالب سيتفتت ويكون من الضروري إضافة ماء وإعادة الخلط والاختبار حتى تشكل المواد قالباً. أما إذا أظهرت المواد أن هناك ماءاً حراً فتكون العينة رطبة جداً للاختبار ويجب صرف الماء وتجفيفها هوائياً وخلطها عدة مرات لتأكيد توزع الرطوبة بانتظام.
يجب أن تستمر عمليات التجفيف حتى يعطي التحقيق بالعصر للمواد المجففة قالباً هشاً أكثر وبحساسية أكبر للمعالجة من القالب الأولي.
إذا كانت الرطوبة المحتواة في العينة الأولية للمحضر في الطريقة 2 بالحدود المبينة أعلاه يمكننا الحصول على عينة الاختبار مباشرة. أما إذا كانت الرطوبة المحتواة قد عدّلت للحصول على تلك الحدود، فتوضع العينة المعدلة في إناء، وتغطى بقماش رطب، بحيث لا يمس المواد، وتترك لمدة خمس عشرة دقيقة، على الأقل.
ـ بعد مالا يقل عن 15 دقيقة توضع العينة على قماش التقسيم وتخلط برفع متعاقب لكل زاوية من القماش وإرجاعها على العينة باتجاه الزاوية المعاكسة قطرياً وبحيث يحدث تدحرجاً في المواد. عند ظهور المواد متجانسة تنهى عملية خلط العينة في كومة قرب وسط القماش.
ـ تملأ العلبة القياسية 85 ميليلتر، بدفعها إلى قاعدة الكومة، بينما يحدث ضغط الكومة باليد في الجانب المعاكس لعلبة القياس.
عند تحريك العلبة على الكومة، تمسك بضغط كاف باليد، ليتسبب ذلك في إملاء العلبة بالمواد، وبحيث تفيض قليلاً، ثم تضغط بثبات براحة اليد وترص المواد للسماح لأكبر كمية بالتوضع في العلبة. ثم يسوى سطح علبة القياس المليئة بمسطرة.

ملاحظة (3):

غالباً ما تعطى عينات الاختبار الرطبة دون استثناء قيماً أخفض للمكافئ مقارنتاً بالعينات الجافة. بالتالي فإذا ما استنتجت مواصفات بكلتا الطريقتين فيمكن اعتماد أي منهما بالثقة ذاتها.

ـ الهزاز الميكانيكي:

بعد الحصول على علبة قياسية سعة 85 ميليلتر من المادة باستخدام إحدى الطريقتين السابقتين، تجفف عينة الاختبار إلى الوزن الثابت بدرجة حرارة 110 ± 5 ° م وتبرد حتى درجة حرارة الغرفة قبل اختبارها.

5.11.1 مراحل عمل التجربة: Experimental Steps

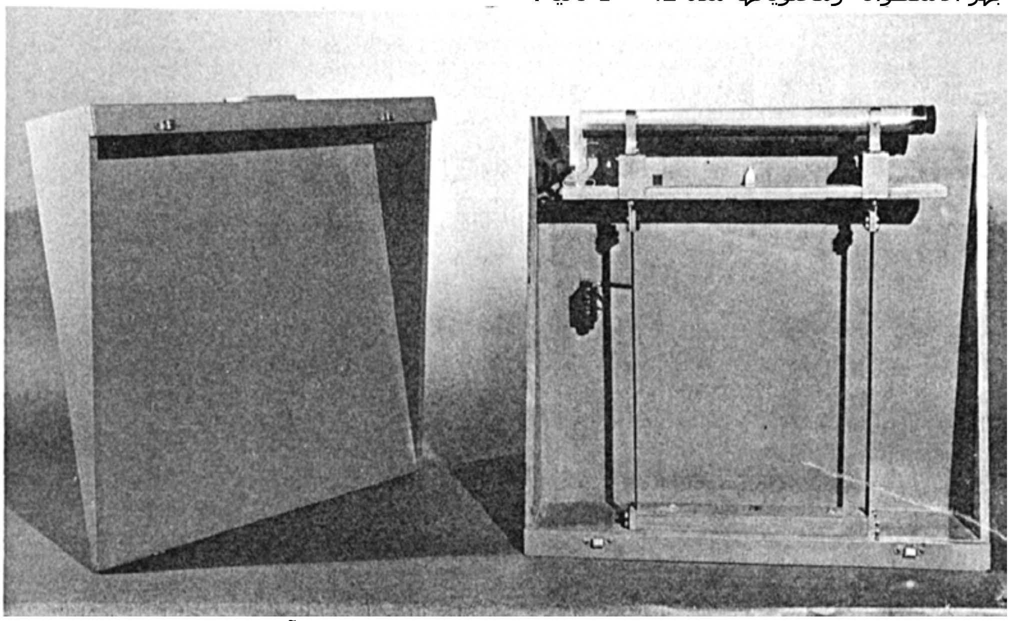
1 ـ يعبأ (101.6 ± 2.5) ميليلتر من محلول كلوريد الكالسيوم العملي إلى الاسطوانة البلاستيكية، ثم تسكب عينة الاختبار المجهزة من علبة القياس إلى الاسطوانة البلاستيكية باستخدام قمع للتأكد من دخول العينة بكاملها. يدق أسفل الاسطوانة بحدة على ظهر اليد عدة مرات لتحرير فقاعات الهواء ولتعزيز الرطوبة لكامل العينة.

2 ـ تترك العينة الرطبة مدة 10 ± 1 دقيقة. وفي نهاية الدقائق العشر (مدة النقع)، تسد الاسطوانة، ثم تقلقل المواد المتوضعة في الأسفل بقلب الاسطوانة جزئياً رأساً على عقب وهزها بآن واحد.

3 ـ بعد تفكيك المواد عن أسفل الاسطوانة تهز الاسطوانة مع محتوياتها بإحدى الطريقتين التاليتين:

أولاً ـ طريقة الهزاز الميكانيكي:

توضع الاسطوانة محكمة الإغلاق في هزاز المكافئ الرملي الميكانيكي، يضبط التوقيت، ويسمح للجهاز الآلي بهز الاسطوانة ومحتوياتها مدة 42 ± 1 ثانية.

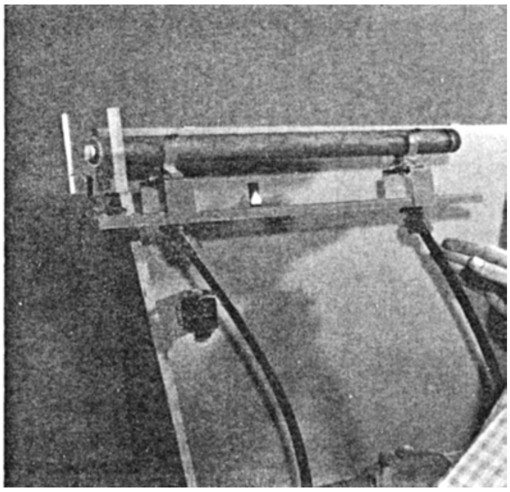


الشكل 2.11.1 ـ الهزاز الميكانيكي (نصف الآلي)

ثانياً ـ طريقة الهزاز اليدوي:

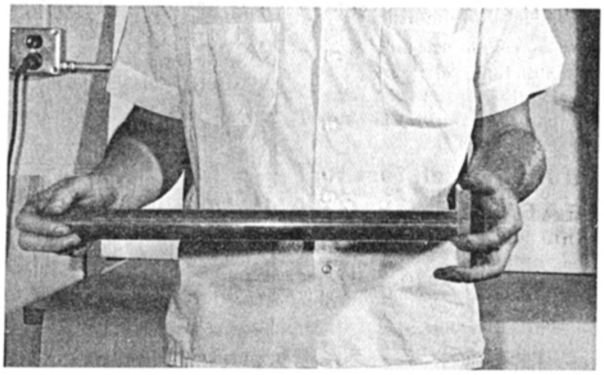
تثبت الاسطوانة محكمة الإغلاق بثلاثة مماسك على حاضن هزاز المكافئ الرملي الذي يعمل يدوياً، ويعاد تسجيل القيمة صفر لعداد أشواط الحركة.

يقف القائم بالتجربة مواجهاً للهزاز، يُدفَع المؤشر إلى علامة نهاية الشوط المحددة على اللوح الخلفي، بتطبيق دفع أفقي متقطع على الجزء العلوي من الشريط الحديدي النابضي في الجهة اليمنى. ثم تبعد اليد من على الشريط، ويسمح للعمل النابضي للشريطين بتحريك الحاضن والاسطوانة في الاتجاه المعاكس دونما مساعدة أو عرقلة.



الشكل 3.11.1 ـ طريقة عمل الهزاز اليدوي

تطبق قوة كافية على الشريط الحديد النابضي في الجهة اليمنى خلال الدفع في كل شوط. لتحريك المؤشر إلى علامة نهاية الشوط، يدفع الشريط باستخدام نهايات الأصابع، للحفاظ على حركة اهتزازية منتظمة، ويستمر الهز حتى إتمام مائة دورة. أما في الطريقة اليدوية، فتمسك الاسطوانة في وضعية أفقية، وتهز بحركة خطية أفقية دورية باتجاه نهايتها. تهز الاسطوانة 90 دورة خلال حوالي 30 ثانية بحركة 229 ± 25 مم. يعرف الشوط بحركة كاملة باتجاه نهايتي الاسطوانة، وبهز الاسطوانة بشكل صحيح بهذه السرعة، يكون من الضروري على القائم بالتجربة أن يهز، بساعديه فقط، مع رخي جسمه وكتفيه.



الشكل 4.11.1 ـ طريقة الهز اليدوي

ـ بعد عملية الهز توضع الاسطوانة على طاولة العمل وتنزع السدادة.

طريقة السقاية:

ـ يدخل أنبوب السقاية في الاسطوانة وتغسل المواد على جدران الاسطوانة كلما أنزل الأنبوب وبالتالي انساب الماء منه على جدار الاسطوانة. يدفع أنبوب السقاية عبر التربة إلى أسفل الاسطوانة بإدخاله وفتله ببطء، بينما ينساب المحلول العملي من نهاية الأنبوب مما يدفع المواد الناعمة في المزيج المعلّق إلى أعلى الجزيئات الرملية الخشنة.

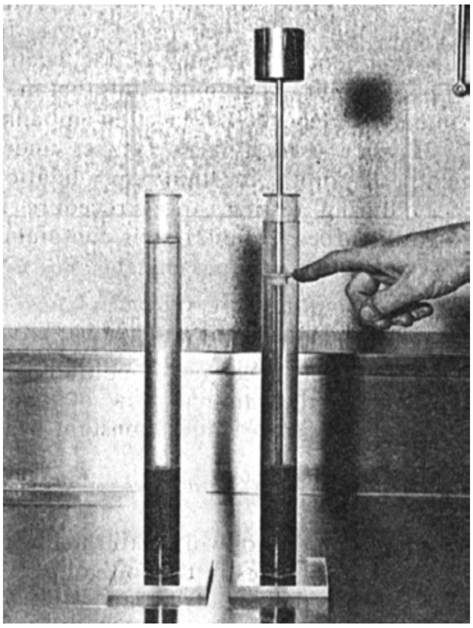
ـ تستمر عملية الإدخال والفتل بينما تندفع النواعم باتجاه الأعلى حتى تمتلئ الاسطوانة إلى علامة 381 مم ثم يرفع أنبوب السقاية ببطء دون قطع التدفق، لكي يبقى مستوى السائل محافظاً على مستوي حوالي 381 مم بينما يسحب الأنبوب.

ـ تترك الاسطوانة ومحتوياتها مدة 20 دقيقة ± 15 ثانية. يبدأ تسجيل الزمن مباشرة بعد سحب أنبوب السقاية.

ـ بعد مرور 20 دقيقة (مدة ترسيب)، يُقرأ ويسجل المنسوب الأعلى للمزيج الغضاري العالق، وتعتبر هذه قراءة الغضار.

إذا لم يتشكل خطأ محدداً وواضحاً في نهاية مدة الترسيب المحددة بمدة 20 دقيقة، تترك العينة حتى يمكن الحصول على قراءة الغضار. ويسجل المستوى العلوي لمزيج الغضار المعلق مباشرة، مع مدة الترسيب الكلية.

ـ في حال زيادة مدة الترسيب الكلية عن 30 دقيقة، تعاد التجربة مرة ثانية باستخدام ثلاث عينات كل على حدة من المادة نفسها. يقرأ ويسجل ارتفاع عامود الغضار لتلك العينة وتسجل أقل مدة ترسيب فقط.
ـ بعد أخذ قراءة الغضار نحصل على قراءة الرمل بإحدى الطريقتين التاليتين:
1 ـ باستخدام المجموعة ذات القاعدة ذات الوزن الثابت والمحدد والتي لها مؤشر رمل على قضيب المجموعة. حيث توضع المجموعة في أعلى الاسطوانة. وتنزل ببطء باتجاه الرمل، مع عدم السماح للمؤشر بصدم فتحة الاسطوانة عند تنزيل المجموعة.
عند وصول النهاية السفلى واستقرارها على الرمل، وتقرب المجموعة باتجاه تدريجات الاسطوانة حتى يلامس المؤشر داخل الاسطوانة.
يطرح طول 254 مم من المستوى المحدد بطرف قمة نهاية المؤشر. وتسجل هذه القيمة وتعتبر هذه قراءة الرمل.



الشكل 5.11.1 ـ طريقة قراءة كل من قراءة الغضار والرمل

2 ـ إذا استخدم النموذج القديم ذو القاعدة ذات الوزن المحدد وبراغي التمركز الثلاثة. ويترك أحد البراغي بملامسة جدران الاسطوانة بجوار التدريجات لنستطيع رؤيته دائماً عند إنزال المجموعة.
وعند وصول النهاية السفلى واستقرارها على الرمل يقرأ مستوى برغي التمركز وتسجل القراءة على أنها (قراءة الرمل).
ـ إذا وقعت أي من قراءتي الغضار أو الرمل بين تدريجات الأسطوانة المدرجة، يسجل مستوى القراءة الأعلى ويعتبر كنتيجة:
ـ مثال:
قراءة الغضار 7.95 تسجل على أنها 8.0.
وقراءة الرمل 3.22 تسجل على أنها 3.3.
ملاحظة (4):
إذا كان قبول المواد في مجبل الإسفلت يعتمد على اختبارات المواد المارة من مجفف المواد الساخن. عندها تجهز العينات للتجربة من الحصويات المستخدمة للخلطات الإسفلتية الخاصة بالمجابل بعد التجفيف بالفرن.

6.11.1 الحسابات: Calculation

1 ـ يحسب المكافئ الرملي (S.E) بتقريب 0.1 باستخدام الصيغة التالية:

$$SE = \frac{\text{قراءة الرمل}}{\text{قراءة الغضار}} \times 100$$

2 ـ إذا كان المكافئ الرملي المحسوب ليس عدداً صحيحاً يسجل العدد الأعلى كعدد صحيح.

ـ مثال:

$$SE = \frac{3.3}{8} 41.5 = \text{والذي يسجل } 42.$$

3 ـ عند الرغبة بأخذ وسطي عدة قيم للمكافئ الرملي، فإنه يؤّخذ وسطي جميع القيم العددية المعينة كما سبق. وإذا كان وسطي هذه القيم ليس عدداً صحيحاً، يرفع هذا العدد إلى العدد الصحيح الأعلى كما في المثال التالي:

عند حساب القيم التالية للمكافئ الرملي: 40.6 ، 43.8 ، 41.2

تصبح القيم بعد رفعها إلى العدد الصحيح:42،44،41

ثم يعين وسطي هذه القيم على النحو التالي:

$$SE = \frac{42 + 44 + 41}{3} = 42.3$$

ترفع القيمة الوسطية إلى العدد الصحيح التالي والذي هو قيمة المكافئ الرملي. فيكون هنا 43.

7.11.1 تحذير: Warning

1 ـ تجرى التجربة في مكان بعيد عن الاهتزاز، حيث يمكن أن تسبب الاهتزازات اضطراب ترسيب المواد المعلقة.

2 ـ يجب عدم تعريض الاسطوانات البلاستيكية إلى أشعة الشمس المباشرة لمدة طويلة.

3 ـ إزالة النمو العضوي:

غالباً ما يكون من الضروري إزالة النمو العضوي من وعاء محلول كلوريد الكالسيوم العملي ومن داخل الأنبوب المطاطي وأنبوب السقاية. يمكن تمييز المواد العضوية هذه بسهولة كمواد لزجة الملمس في المحلول، لإزالة هذا النمو، يجهز مذيب منظف بتخفيف تركيز هيبو كلوريت الصوديوم[1] بكمية مساوية من الماء.

يملأ وعاء المحلول بالمذيب المنظف المجهز، ويسمح لحوالي ليتر من ذلك المذيب بالجريان، عبر مجموعة السيفون، وأنبوب السقاية، ثم يوضع المحبس في نهاية الأنبوب المطاطي لقطع جريان المذيب ولإبقاء المذيب في الأنبوب. يعاد إملاء الوعاء ويترك ليلة، بعد النقع يسمح للمذيب المنظف بالجريان إلى الخارج عبر مجموعة السيفون وأنبوب السقاية.

تنزع مجموعة أنبوب السقاية، ومجموعة السيفون بسهولة ويوصل خرطوم يبن نهاية أنبوب السقاية وصنبور مياه، ويغسل بدفق الماء بعكس اتجاه جريان سائل الغسيل.

4 ـ يمكن أن تسد الثقوب في نهاية أنبوب السقاية من حين لآخر بجزيئات الرمل، عند وجود صعوبة في فتح النهاية المسدودة من الأنبوب، فإنه يلجأ إلى استخدام دبوس أو أي مادة حادة أخرى، ويجب استخدامه بعناية فائقة لئلا يتسبب ذلك في زيادة حجم الفتحة.

5 ـ تعتبر نتائج التجربة غير متناقضة، إذا لم تختلف نتائج كل تجربة على حدة، من ثلاث تجارب مجراة على عينات نموذجية لأي مادة معطاة عن ± 4 أرقام عن وسطي هذه التجارب.

8.11.1 صفات مميزة تتعلق بالمحضّر المخبري القائم بالتجربة: Characteristics of laboratory for Man

1 ـ قبل السماح للمحضر بإجراء تجربة المكافئ الرملي بأي من الطريقتين، سواء بالجهاز اليدوي أو اليدوية، فإنه يجب أن يتمتع بمتطلبات خاصة معينة لتلك الطريقة.

2 ـ يجب أن يكون المحضّر قادراً على الحصول على نتائج غير متناقضة لتجربة المكافئ الرملي، على العينات النموذجية لأي مادة معطاة عند إجراء التجربة بالطريقة الموضحة سابقاً. وتعتبر نتائج التجربة غير متناقضة إذا لم تختلف نتائج كل تجربة على حدة من ثلاث تجارب مجراة على عينات نموذجية لأي مادة معطاة عن 4± أرقام عن وسطي هذه التجارب.

3 ـ يجب أن يوافق وسطي ثلاث تجارب للمحضر على أي مادة معطاة ± 4 أرقام مع وسطي ثلاث تجارب للمادة نفسها عند اختبارها باستعمال طريقة الهزاز الميكانيكي (راجع الطريقة).

4 ـ إذا لم يكن المحضّر قادراً على الحصول على نتائج منطقية بطريقة الهزاز اليدوي، أو إذا كانت نتائجه لا توافق نتائج طريقة الهزاز الميكانيكي، فإن عليه ألا يجري تجربة المكافئ الرملي باستخدام الهزاز اليدوي حتى يتم تقنيته بشكل كاف لتأتِ نتائج اختباراته ضمن الحدود المعينة دون إحصاء عدد الدورات المطلوبة.

5 ـ إذا أصبح المحضّر قادراً على الحصول على نتائج منسجمة عند تأهيله على الطريقة اليدوية، إلا أن وسطي نتائجه لا يتوافق مع الحدود المبينة سابقاً لوسطي ثلاث نتائج بطريقة الهزاز الميكانيكي، فإنه يجب أن

[1] كلوروكس أو مكافئة يمكن أن يكون مذيباً مقبولاً لهذا الغرض.

يعـير عـدد دورات الهـز الكافـي لتصـبح نـتائجه موافقـة لـتلك النـتائج الـناتجة بطـريقة الهز الميكانيكي. يعين التعديل المطلوب في عدد الدورات بالطريقة التالية:

- يـزاد عـدد الـدورات للحصـول على تخفيض في نتائج تجربة المكافئ الرملي. يخفض عدد الدورات للحصول على زيادة في نتائج تجربة المكافئ الرملي.
- تجرى ثلاث تجارب على عدد الدورات المعدّل.
- ينصح بالمحافظة على معدل 180 دورة في الدقيقة.
- يقارن وسطي ثلاث نتائج اختبارات باستعمال العدد المعدّل للأشواط مع الوسطي الناتج باستخدام طريقة الهزاز الميكانيكي.
- يعـاد تعديـل عـدد دورات الهـز إذا كـان ذلـك ضـرورياً حتى يصبح اختلاف وسطي لنتائج ثلاث اختبارات بعدد الدورات المعدل بحدود 4 ± أرقام عن الوسطي الناتج بطريقة الهزاز الميكانيكي.

6 ـ يطلب للمحضّرين إجراء تجارب تأهيل كلما جنحت نتائجهم بسبب اختلاف ممكن تقديره عن تلك الناتجة باستخدام طريقة الهزاز الميكانيكي. يجب أن تجرى تجارب التأهيل في أوقات منتظمة للتأكد من دقة التجربة.

التجربة 12.1 ...

اختبار مقاومة الاهتراء بجهاز (لوس أنجلوس) للحصويات الخشنة
Resistance to Abrasion for small Size aggregates by use of the Los Angeles Machine
(AASHTO - 96-77)

1.12.1 اختبار مقاومة الاهتراء للحصويات بجهاز لوس أنجلوس للحصويات الخشنة:

1.1.12.1 مجال التجربة:

تختبر مقاومة الحصويات الخشنة التي قياسها أكبر من 19 مم ضد الاهتراء باستخدام جهاز لوس أنجلوس.

ملاحظة (1):

في التجربة اللاحقة شرحت طريقة اختبار الحصويات الخشنة ذات القطر الأصغر من 37.5 مم (اختبار مقاومة الاهتراء للحصويات الخشنة ذات الأحجام الصغيرة باستخدام جهاز لوس أنجلوس).

2.1.12.1 الجهاز:

1 ـ جهاز لوس أنجلوس:

يجب أن تتطابق المميزات الأساسية لجهاز لوس أنجلوس لاختبار الاهتراء مع التصميم المبين بالشكل 1.1.12.1. يتألف الجهاز من اسطوانة فولاذية مجوفة مغلقة من طرفيها قطرها الداخلي 711 ± 5 مم والطول الداخلي بين الطرفين 508 ± 5 مم (انظر الشكل المرفق).

تعلق الاسطوانة على محور دوران يتصل بطرفي الاسطوانة دون أن يخترقها ويجب عند تدوير الاسطوانة أن يكون المحور بوضع أفقي تماماً.

تزود الاسطوانة بفتحة لإدخال العينات وتزود الفتحة بغطاء مناسب محكم الإغلاق يمنع خروج الغبار خارج الاسطوانة ويثبت الغطاء بمكانه بوسائل تثبيت مناسبة.

يجب أن يُرَكَّب على السطح الداخلي للاسطوانة أو على السطح الداخلي للغطاء حاجز قابل للفك من الفولاذ يمتد على كامل طول الاسطوانة ويبرز باتجاه محورها بمسافة 89 ± 2 مم ويتطابق السطح المحوري الواقع بين سطوح الحاجز الكبيرة مع المستوي المحوري للتصميم. انظر الشكل المرفق.

يجب أن يكون الحاجز ذا سماكة كافية ومثبت بوسائل مناسبة تؤمن ثباته ومتانته، ويجب أن لا تقل المسافة بين الحاجز الفولاذي والفتحة مقاسة على طول محيط الاسطوانة وباتجاه الدوران عن 127 مم.

ملاحظة (2):

يفضل استخدام حاجز مقاوم للتآكل ومقطعه مستطيل ومركب بشكل مستقل عن الغطاء، ومن المستحسن أن يركب حاجز بشكل زاوية على السطح الداخلي لصفيحة الغطاء شريطه أن يكون اتجاه الدوران، بحيث يتم مسك الشحنة على الوجه الخارجي للزاوية، في حالة تشوه الشكل الأصلي للحاجز.

الشكل 1.1.12.1 ـ جهاز لوس أنجلوس.

2 ـ المهزات:

مطابقة للمواصفات ASTM.

3 ـ دقة الميزان والمقياس المتدرج:

يجب أن تكون مساوية إلى 0.1% من أكبر وزن لعينة يراد اختبارها.

3.1.12.1 حمولة الاهتراء:
يقصد بحمولة الاهتراء عدد ونوع الكرات في جهاز لوس أنجلوس أثناء تدوير الجهاز. وتتكون حمولة الاهتراء من 12 كرة فولاذية قياس قطرها التقريبي 46.831 مم. تزن كل كرة ما بين 390 و 445 غرام ولها وزن إجمالي بمقدار 5000 ± 25 غرام.
ملاحظة (3):
تزن الكرات الفولاذية التي قطرها 46.038 مم و 47.625 مم تقريباً وعلى التوالي 400 و 440 غرام ومن الممكن أن تكون حمولة الاهتراء عبارة عن خليط من هذه الأحجام.
4.1.12.1 عينة الاختبار:
يجب أن تحضر العينة المزمع اختبارها والممثلة لكامل العينة من الحصويات، بحيث تغسل ثم تجفف في فرن تجفيف حرارته 105 إلى 110م حتى الحصول على وزن ثابت ثم تفرق هذه الحصويات إلى عدة أقسام بحسب أحجامها وبشكل تتطابق مع التدرج الوارد في الجدول 1.1.12.1 التالي. ويجب أن يسجل وزن العينة المجهزة للاختبار بدقة 1غ.
ملاحظة (4):
إذا كانت الحصويات حرة من المواد الملتصقة والغبار العالق، فيمكن العدول عن غسل العينة، سواء قبل أو بعد التجربة. نادراً ما يتسبب إلغاء طلب الغسيل بعد الاختبار، في تخفيض قيمة الضياع بأكثر من 2% من الوزن الأصلي للعينة.
5.1.12.1 طريقة الاختبار:
1 ـ توضع عينة الاختبار وحمولة الاهتراء في جهاز لوس أنجلوس، ويدور الجهاز بحيث تدور اسطوانة الجهاز 1000 دورة بمعدّل 30 إلى 33 دورة / دقيقة. ويجب أن يعاير جهاز عد الدورات للحفاظ على سرعة دوران ثابتة.
2 ـ بعد إجراء العدد المطلوب من الدورات، تفرغ المواد من الآلة وتغسل العينة مبدئياً على مهزة فتحتها أكبر من فتحة المهزة رقم 12 (1.70 مم). ثم يمرر بعد ذلك القسم الأنعم على المهزة رقم 12 (1.70 مم) بطريقة مطابقة للمواصفات حسب ASTM – C 136 (اختبار تحليل الحصويات الخشنة والناعمة بالمناخل.
3 ـ تغسل المواد المحجوزة على المهزة رقم 12 والمهزة ذات القطر الأكبر، ثم تدخل إلى الفرن وتجفف بحرارة 105 إلى 110 °م حتى الحصول على وزن ثابت.
4 ـ يوزن الناتج بدرجة تقريب مقدارها 5 غ.
ملاحظة (5):
يمكن الحصول على معلومات مساعدة لها علاقة بتجانس العينة بتحديد الفاقد بعد 200 دورة.
يجب أن يحدد الفاقد بدون غسل المواد المحجوزة على المهزة رقم 12 (1.70 مم).
يجب ألا تزيد نسبة الفاقد (الاهتراء) عن 20% بعد 200 دورة على الفاقد بعد 1000 دورة بالنسبة للمواد المتجانسة القساوة.
لتحديد هذا الفاقد يمنع ضياع أي جزء من العينة. ترجع العينة بكاملها مع الغبار الناتج عن الاهتراء لجهاز الاختبار من أجل إجراء 800 دورة أخرى بدفعة واحدة.
6.1.12.1 الحسابات:
1 ـ يعبر عن الفرق بين الوزن الأولي والوزن النهائي للعينة المختبرة بنسبة من الوزن الأصلي للعينة.
تسجل القيمة كنسبة مئوية للاهتراء (أو التآكل).

الجدول 1.1.12.1 ـ الكمية المطلوب تحقيقها لتنفيذ التجربة حسب التدرج الحبي للعينة.

فتحة المهزة (فتحات مربعة)				وزن الحجوم المعينة (غ)		
المار		المحجوز		التدرج وفقاً لدرجة خشونة العينة		
إنش	مم	إنش	مم	E	F	G
3	(75)	2 ½	(63)	2500 ± 50		
2 ½	(63)	2	(50)	2500 ± 50		
2	(50)	1 ½	(37.5)	5000 ± 50	5000 ± 50	
1 ½	(37.5)	1	(25.0)		5000 ± 25	5000 ± 25
1	(25.0)	3 / 4	(19.0)			5000 ± 25
المجموع				10000 ± 100	10000± 75	10000 ± 50

2.12.1 اختبار مقاومة الاهتراء للحصويات بجهاز لوس أنجلوس للحصويات الناعمة:
1.2.12.1 مجال التجربة:
تختبر مقاومة الحصويات الناعمة التي قياسها أصغر من 19 مم بهذه الطريقة ضد الاهتراء باستخدام جهاز لوس أنجلوس.

2.12.1 .2 الجهاز:

1 ـ جهاز لوس انجلوس:

يجب أن تتطابق المميزات الأساسية لجهاز لوس أنجلوس لاختبار الاهتراء مع التصميم المبين بالشكل 1.2.12.1

يتألف الجهاز من اسطوانة فولاذية مجوفة مغلقة من طرفيها قطرها الداخلي 711 ± 5 مم والطول الداخلي بين الطرفين 508 ± 5 مم (انظر الشكل المرفق).

تعلق الاسطوانة على محور دوران يتصل بطرفي الاسطوانة دون أن يخترقها وعند تدوير الاسطوانة، يجب أن يكون المحور بوضع أفقي تماماً. وتزود الاسطوانة بفتحة لإدخال العينات، وتزود الفتحة بغطاء مناسب محكم الإغلاق يمنع خروج الغبار خارج الاسطوانة ويثبت الغطاء بمكانه بوسائل تثبيت مناسبة.

يجب أن يُرَكَب على السطح الداخل للاسطوانة أو على السطح الداخلي للغطاء حاجز من الفولاذ قابل للفك يمتد على كامل طول الاسطوانة ويبرز باتجاه محورها بمسافة 89 ± 2 مم ويتطابق السطح المحوري الواقع بين سطوح الحاجز الكبيرة مع المستوى المحوري للتصميم. (انظر الشكل المرفق).

يجب أن يكون الحاجز ذو سماكة كافية ومثبت بوسائل مناسبة تؤمن ثباته ومتانته. ويجب أن لا تقل المسافة بين الحاجز الفولاذي والفتحة، مقاسة على طول محيط الاسطوانة وباتجاه الدوران عن 127 مم، (انظر الشكل المرفق ـ المقطع العرضي للجهاز).

ملاحظة (1):

يفضل استخدام حاجز مقاوم للتآكل ومقطعه مستطيل ومركب بشكل مستقل عن الغطاء، ومن المستحسن أن يركب حاجز بشكل زاوية على السطح الداخلي لصفيحة الغطاء، شريطه أن يكون اتجاه الدوران بحيث تُمسك الشحنة على الوجه الخارجي للزاوية في حالة تشوه الشكل الأصلي للحاجز.

2 ـ المهزات:

مطابقة للمواصفات ASTM.

3 ـ دقة الميزان والمقياس المتدرج:

يجب أن تكون مساوية إلى 0.1% من أكبر وزن لعينة يراد اختبارها.

2.12.1 .3 حمولة الاهتراء:

1 ـ يجب أن تتألف حمولة الاهتراء من كرات فولاذية متوسط قطرها يساوي تقريباً 46.8 مم وتزن الواحدة منها بين 390 ـ 445 غ.

2 ـ يعتمد اختيار حمولة الاهتراء الجدول رقم 2.12.1 على تدرج عينة الاختبار الموصوف في الجدول رقم 3.12.1.

الجدول رقم 2.12.1 ـ اختيار حمولة الاهتراء.

تدرج عينة الاختبار	عدد الكرات	وزن الحمولة (الكرات) غ
A	12	25 + 5000
B	11	25 + 4584
C	8	20 + 3330
D	6	15 + 2500

ملاحظة (2):

يمكن استخدام أحد الأنواع التالية من الكرات:

1 ـ كرات فولاذية بقطر 46 مم ووزن 400 غ.

2 ـ كرات فولاذية بقطر 47.6 مم ووزن 440 غ.

3 ـ كرات فولاذية بقطر 46.8 مم ووزن 420 غ.

ومن الممكن أن تتكون حمولة الاهتراء، من خليط في القياسات السابقة للكرات الفولاذية، على أن يكون وزنها الإجمالي ضمن الحدود المسموحة.

4.2.12.1 عينة الاختبار:

يجب أن تحضر عينة التجربة من الحصويات التي تمثل تماماً الحصويات المقدمة للاختبار فبعد غسل الحصويات. تجفف في فرن تجفيف بدرجة حرارة تتراوح بين 105 ـ 110 درجة مئوية حتى ثبات الوزن ثم تقسم هذه الحصويات إلى عدة أقسام حسب حجوم حباتها. ثم يعاد مزجها مرة أخرى بأوزان محددة تتطابق مع الأوزان الواردة في الجدول رقم .2.12.1، وبحيث يتم اختبار مجال التدرج بما يتناسب مع تدرج الحصويات المقدمة للاختبار ويتم تسجيل وزن عينة الاختبار بدقة 1 غ.

5.2.12.1 طريقة الاختبار:

بعد وضع عينة الاختبار وحمولة الاهتراء المناسبة في جهاز لوس انجلوس تدور اسطوانة الجهاز 500، دورة بمعدّل 30 إلى 33 دورة / دقيقة، مع معايرة الجهاز للحفاظ على سرعة محيطية ثابتة.

بعد إجراء العدد المطلوب من الدورات تفرغ المواد من الجهاز.،تنخل العينة على مهزة أخشن من المهزة رقم 12 (1.7 مم).

تؤخذ المواد الناعمة المارة من المنخل المستعمل في العملية السابقة، وتنخل على المهزة رقم 12 بطريقة مطابقة لتجربة تحليل الحصويات الخشنة والناعمة بالمناخل.

تغسل المواد الأخشن من فتحات المهزة رقم 12 وتجفف بفرن تجفيف بدرجة حرارة 105 ـ 110 °م، حتى ثبات الوزن بدقة 1 غ.

ملاحظة (3):

إذا كانت الحصويات خالية بشكل أساسي من طبقات الغبار المغلفة لها والملتصقة بها فإنه من الممكن إلغاء شرط الغسل قبل وبعد التجربة.

إن إلغاء شرط الغسل بعد إنهاء التجربة لا يخفض قيمة الفواقد المقاسة بأكثر من 20% من وزن العينة الأصلي.

ملاحظة (4):

يمكن الحصول على معلومات ذات قيمة لها علاقة بانتظام بتجانس العينة عن طريق تحديد الفواقد بعد 100 دورة. ويتم تحديد هذه الفواقد بدون إجراء عملية غسل للمواد الأخشن من المهزة رقم 12 (1.7 مم).

إن نسبة الفواقد بعد 100 دورة إلى الفواقد بعد 500 دورة يجب أن لا تزيد عن 2% بالنسبة للمواد متجانسة القساوة.

يجب منع ضياع أي جزء من العينة عندما يجرى تحديد الفواقد بناء على طريقة التحديد للفواقد هذه. حيث يتم إرجاع كامل العينة مع الغبار الناتج عن الاهتراء، إلى جهاز لوس أنجلوس بدقة من أجل استكمال 400 دورة المطلوبة لإنهاء التجربة.

6.2.12.1 الحسابات:

يعبر عن الفرق بين الوزن الأصلي للعينة المختبرة X والوزن النهائي لها Y بنسبة في الوزن الأصلي وتسجل القيمة كنسبة مئوية للاهتراء (التآكل).

$$\text{نسبة الاهتراء} = \frac{X - Y}{X}$$

الجدول رقم 3.12.1 ـ لتصنيف عينات الاختبار.

قياس المناخل (فتحات مربعة)				وزن الحجوم المعينة (غ)			
المار		المحجوز		التدرج			
إنش	مم	إنش	مم	A	B	C	D
½1	37.5	1	25.0	25+1250	-	-	-
1	25.0	¾	19.0	25+1250	-	-	-
¾	19.0	½	12.5	10±1250	10+2500	-	-
½	12.5	$\frac{7}{8}$	9.5	10+1250	10+2500	-	-
$\frac{3}{8}$	9.5	$\frac{1}{4}$	6.3	-	-	10+2500	-
¼	6.3	رقم4	4.75	-	-	10+2500	-
رقم 4	4.75	رقم 8	2.36	-	-	-	10+5000
المجموع				10+5000	10+5000	10+5000	10+5000
عدد الكرات				12 كرة	11 كرة	8 كرة	6 كرة

التجربة 13.1 ...

الطريقة القياسية لتحديد تحمل التربة المرصوصة مخبرياً
Test Method for CBR (California Bearing Ratio)
Of Laboratory- compacted Soil
(ASTM-D1883- 94)

1.13.1 المجال: Scope

هدف التجربة هو إعطاء تحمل التربة النسبي بعد رصها وفحصها بالمخبر، وذلك عن طريق مقارنة القوة اللازمة لاختراق التربة، مع نتائج اختراق تربة قياسية، ويمكن من هذه التجربة تحديد صلاحية التربة الطبيعية الأساسية، وتربة طبقات الردم في الطريق (طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس).

2.13.1 الأجهزة والأدوات المستخدمة: Apparatus

1.2.13.1 جهاز تحميل:

وهو جهاز ذو طاقة تحميل لا تقل عن 44.5 كيلونيوتن. ومجهز برأس أو قاعدة متحركة تتحرك بسرعة ثابتة مقدارها 1.27 مم / دقيقة.

وتستخدم لتطبيق قوة كافية لاختراق رأس اسطوانة الجهاز داخل العينة، ويجب أن يكون الجهاز مزوداً بمشعر لقراءة القوة المطبقة، وأن يكون قادراً على قراءة قوة دنيا قدرها 44 نيوتن أو أقل.

ـ القالب:

هو قالب أسطواني بقطر داخلي 15.24سم وارتفاع 177.8سم ويكون مزوداً بطوق وصل إضافي بارتفاع 5.08سم. وهو مزود بقاعدة معدنية مثقبة ذات ارتفاع 9.53 ملم وقطر الثقوب لا تتجاوز 1.59 ملم.

ـ قرص تباعد:

قرص معدني أسطواني بقطر 15.08 سم وبارتفاع 6.14 سم.

ـ مطرقة:

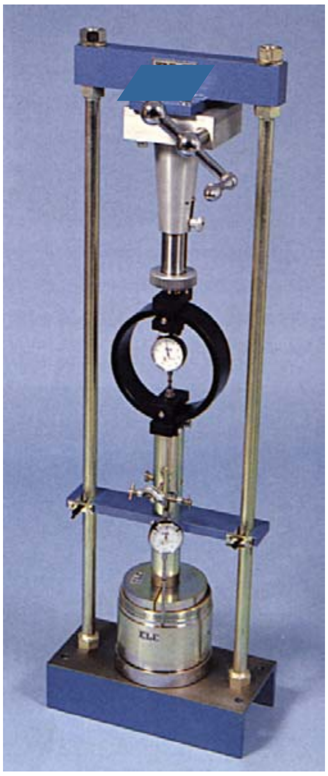
تستخدم نفس المطرقة الموصفة في تجربة بروكتور.

ـ جهاز قياس الانتفاخ:

وهو عبارة عن ساق قابل للضبط مثبت على صفيحة مثقبة بقطر لا يزيد عن 1.59 مم. ومسند ثلاثي الأرجل لتثبيت ساعة قياس الانتفاخ الحاصل أثناء النقع بالماء.

ـ أوزان إضافية:

حلقة معدنية بوزن 2.27 كغ لكل حلقة، وبقطر خارجي 149.2 مم ومفرغة في مركزه بقطر 54 ملم.



الشكل 1.13.1 ـ جهاز CBR المخبري مع القالب

الشكل 2.13.1 ـ جهاز قياس الانتفاخ

ـ مكبس الاختراق:

مكبس معدني بقطر 49.5 ملم أي بمساحة 19.35 سم وبطول لا يقل عن 10.16 سم.

ـ مؤشرات التشوه:

يلزم مؤشرات بدقة قياس للتشوه $\frac{1}{1000}$ إنش أو $\frac{1}{100}$ ملم.

ـ حوض تغطيس بالماء:

مناسب لنقع العينات بالماء والمحافظة على ارتفاع ماء 2.5 سم أعلى القالب و 2.5 سم أسفل القالب وذلك بتثبيت شبكة قضبان بارتفاع 2.5 سم في أسفل الحوض وبتباعد مناسب.

3.13.1 تحضير العينة: Preparation of Sample

1 ـ يتم تقسيم العينة بشكل نظامي وأخذ قسم ممثل للعينة. وزن الجزء المأخوذ لا يقل عن 4.54 كغ للترب الناعمة أو عن 5.44 كغ للترب الحصوية.

تخلط العينة بالماء وتحفظ في وعاء لحفظ رطوبة الجو المحيط بالعينة لفترة كافية لتأمين تجانس الرطوبة في العينة عندما يكون ذلك ضرورياً.

2 ـ في حالة تحضير عينة منقوعة بالماء، يلزم تحديد رطوبة العينة قبل وبعد رص العينة في القالب.
يجب أن لا يقل وزن عينة تحديد الرطوبة عن 100 غ للتربة الناعمة، وعن 500 غ للتربة الحصوية، وفي حال تحضير عينة غير منقوعة، يلزم أخذ عينة من أحد طرفي القالب، بعد تنفيذ التجربة لتحديد محتوى الرطوبة في القالب.
3 ـ يتم تثبيت القالب المعدني (مع طوق الوصل) بالتشبيك مع القاعدة المثقبة، وتوضع صفيحة التباعد داخل القالب، ويوضع فوقها ورقة ترشيح خشنة ثم ترص التربة في القالب، وذلك كما هو مشروح في تجربة بروكتور. على أن ترص التربة حتى الكثافة الجافة العظمى بعد إضافة نسبة المياه الأصولية للعينة.
4 ـ يتم فك طوق الوصل المعدني وتشذيب حواف القالب وتسوية سطحه، ويمكن إضافة بعض النواعم من العينة لملء الفراغات الناتجة عن إزالة بعض الحصويات أثناء التشذيب.
يمكن بعد ذلك فك القاعدة المثقبة وإزالة صفيحة التباعد لوزن القالب مع التربة المرصوصة، ثم يتم تركيب القالب على القاعدة المثقبة بعد وضع ورقة ترشيح خشنة، على أن يكون سطح التربة مواجهاً للقاعدة المثقبة.
5 ـ توضع الساق القابلة للضبط فوق العينة بعد وضع ورقة ترشيح خشنة على سطح التربة، ثم توضع أقراص الحمولات الإضافية لتمثيل وزن الطبقات فوق التربة المدروسة على أن لا يقل وزن هذه الأقراص عن 4.54 كغ.
يلي ذلك غمر القالب والأوزان في الماء مع تأمين حرية وصول الماء للعينة من أعلى وأسفل القالب.
يجب أخذ القياسات المبدئية لتحديد الانتفاخ قبل نقع العينة في الماء لمدة 96 ساعة. ويجب الحفاظ على منسوب مياه ثابت أثناء فترة النقع.
يمكن أن تكون فترة النقع أقل من 96 ساعة، عندما تكون التربة حصوية، أو ذات تصريف سريع للماء. عند نهاية فترة النقع تؤخذ قراءة انتفاخ العينة وتنسب للطول البدائي لها.
6 ـ بعد أخذ قراءة الانتفاخ، يجب إزالة الساق القابلة للضبط، وإزالة المياه السطحية، دون تخريب سطح العينة، والسماح للعينة بالتصريف الحر للماء لمدة 15 دقيقة.
ويمكن السماح بتمييل القالب أثناء التصريف، شرط عدم تخريب سطح العينة. ثم يوزن القالب مع التربة المشبعة وتسجيل هذا الوزن.

4.13.1 مراحل تنفيذ التجربة: Experimental Steps

1 ـ يجب وضع أقراص الأوزان الإضافية الممثلة لوزن الطبقات فوق التربة المدروسة، على أن لا تقل عن 4.54 كغ. فإذا كانت العينة محضرة بالنقع بالماء فيكون وزن الأقراص الإضافية مماثلاً لوزن الأقراص في حالة النقع.
لمنع التربة الناعمة من الدخول داخل فتحة مكبس الاختراق يوضع مكبس الاختراق فور وضع أحد من الأوزان الإضافية على العينة، وتوضع باقي الأوزان الإضافية بعد ذلك.
2 ـ يتم ضبط سطح المكبس عند سطح العينة بأقل حمولة ممكنة، شرط أن لا تتجاوز الحمولة 44 نيوتن. ثم يتم تصفير ساعة قياس التشوه والإجهاد المطبق.
إن هذه الحمولة المبدئية ضرورية لضمان ارتكاز مناسب للمكبس على العينة وتعتبر هذه الحمولة هي الصفر المبدئي للتجربة عند رسم منحني الإجهاد - التشوه.
3 ـ يمكن تطبيق الحمولة على المكبس بحيث تكون سرعة الاختراق بحدود 1.27ملم/دقيقة.
تسجل الحمولة عندما يكون الاختراق مساوياً (0.64 ـ 1.27 ـ 1.91 ـ 2.54 ـ 5.08 ـ 7.62 ـ 10.16 ـ 12.7) ملم.
4 ـ يتم نزع التربة من القالب وقياس رطوبة الجزء العلوي منه 2.54 سم.
5 ـ طريقة الحساب:
ـ منحني الإجهاد التشوه:
يحسب الإجهاد المطبق على سطح العينة ويرسم منحني الإجهاد ـ التشوه على أن يكون المحور الأفقي محور التشوه والمحور الشاقولي محور الإجهادات.
عند رسم المنحني، قد يكون مقعراً نحو الأعلى في بداية المنحني، وذلك ناتج عن عدم استواء سطح العينة عند بداية التجربة، وعندها يجب تعديل نقطة الصفر للمنحني حسب الشكل 3.13 .
ـ نأخذ قيم الحمولة المحسوبة عند اختراق العينة بقيمة 2.54 ملم و 5.08 ملم.
يمكن حساب نسبة تحمل التربة بمقارنتها بالتربة القياسية وذلك بتقسيمها على 1000 باوند / الإنش المربع وعلى 1500 باوند / الإنش المربع، بالترتيب وتضرب النتيجة بـ 100 لحسابها كنسبة مئوية.
وفي حال حساب الحمولة الناتجة بالتجربة أو المصححة بالكيلو غرام بالسنتيمتر المربع يكون (عند الاختراق 2.54 ملم)

$$CBR = \frac{\text{قيمة الحمولة المصححة}}{\text{الحمولة القياسية}} \times 100 = \frac{\text{قيمة الحمولة المصححة}}{70.29} \times 100$$

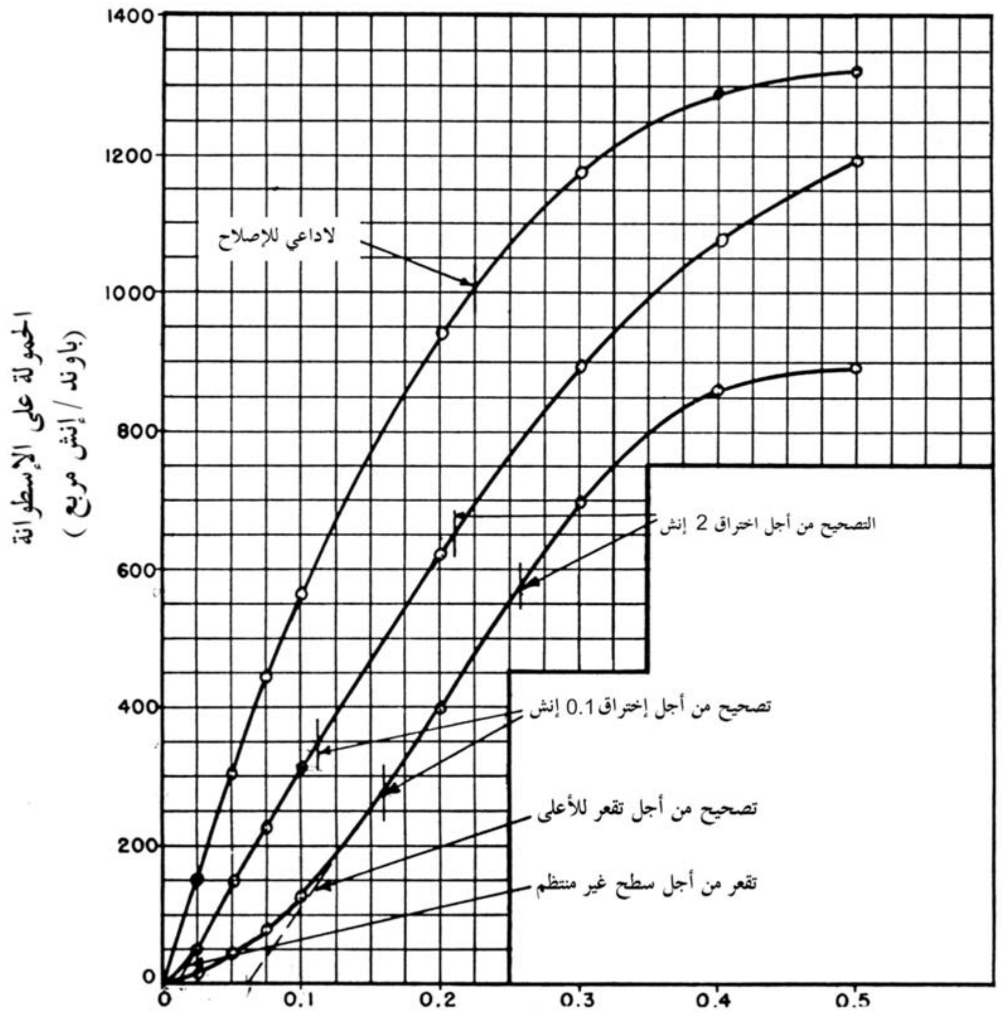
وعند الاختراق 5.08 ملم

$$CBR = \frac{\text{قيمة الحمولة المصححة}}{\text{الحمولة القياسية}} \times 100 = \frac{\text{قيمة الحمولة المصححة}}{105.43} \times 100$$

وعـادة تكون قيمة الـ CBR العليا عند الاختراق المسـاوي لـ 2.54 ملم، وعندما تكون قيمة الـ CBR العليا عند الاختراق المسـاوي لـ 5.08 ملم.
يجب إعادة التجربة وفي حال كانت النتيجة مماثلة تعتمد النتيجة.

5.13.1 التقرير: Report

يجب أن يشـمل تقرير التجربة ما يلي:
- طريقة تحضير ورص العينة.
- تحضير قالب العينة (مغمورة بالماء أم لا).
- الكثافة الجافة للعينة قبل الغمر وبعد الغمر.
- رطوبة العينة بالنسـبة المئوية (قبل الرص، بعد الرص، بعد الاختراق).
- نسـبة الانتفاخ.
- نسـبة تحمل العينة بالنسـبة المئوية.



الشـكل 3.13 ـ تصحيح منحني الحمولة – الاختراق.

التجربة 14.1 ...

الطريقة القياسية لتجربة التحميل المتكررة للصفيحة على الترب وعلى طبقات الرصف المرنة بهدف تصميم طبقات الطرق السريعة ومدرجات المطارات
Repetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements
(ASTM- D1195- 93)

1.14.1 الغاية من التجربة: Scope

هذه الطريقة تبين كيفية تنفيذ تجربة صفيحة التحميل الدورية على تربة الردم وطبقات الرصف المرنة سواء في حالة الرص أو في الحالة التوضع الطبيعي. وتؤمن التجربة المعلومات اللازمة للتقييم جودة الرص والتصميم عند حساب الطرق ومدارج المطارات بالطريقة المرنة أو بالطريقة الصلبة.

2.14.1 تعاريف: Definitions

ـ التشوه:

هو الانتقال الشاقولي نحو الأسفل للسطح المدروس تحت تأثير حمولة على هذا السطح.

ـ التشوه المتبقي:

هو الفرق بين التشوهين الشاقوليين للسطح المدروس مقاساً قبل وبعد إجراء التحميل لمرة واحدة أو لعدة مرات.

ـ التشوه المرتد:

هو قيمة التشوه الشاقولي نحو الأعلى للسطح المدروس بقراءة قيمة التشوهات قبل وبعد إزالة الحمولة.

3.14.1 الأدوات المستخدمة: Apparatus

ـ جهاز التحميل:

شاحنة أو مقطورة أو أي جسم آخر مُحمل بحمولة كافية لتأمين رد الفعل المناسب على السطح المدروس يشترط أن تكون نقاط الارتكاز (الدواليب في حالة الشاحنة أو المقطورة) على بعد لا يقل عن 2.4 م عن المحيط الدائري لأكبر صفيحة تحميل مستخدمة.

ـ مضخة هيدروليكية:

مزودة بمكبس تحميل دائري تكون قادرة على تطبيق وإزالة الحمولة على مراحل. يجب أن تكون المضخة قادرة على تطبيق الحمل الأعظمي المطلوب وأن تكون مزودة بساعة قياسية مدرجة ودقيقة تبين القوة المطبقة.

ـ صفائح التحميل:

هي مجموعة من الصفائح الفولاذية سماكة لا تقل عن 25.4 ملم. يتم صفها فوق بعضها البعض بشكل هرمي بحيث توضع الصفيحة ذات القطر الأكبر أسفل الصفيحة ذات القطر الأصغر لتأمين الصلابة. وتكون بأقطار من 15.2سم إلى 76.2 سم. يجب أن لا يكون الفرق بين قطري صفيحتين متتاليتين أكثر من 15.2 سم.

ـ جهاز قياس:

يلزم جهازي قياس تشوهات (ساعتين) أو أكثر مدرجتين بالميليمتر (أصغر تدريجة $\frac{1}{100}$ مم)، وقادرين على تسجيل تشوهات أعظمية تصل حتى 25.4 مم. ويمكن استخدام أي جهاز قياس آخر مكافئ.

ـ جسر تعليق أجهزة القياس:

جسر تعلق أجهزة القياس عليه، يتكون الجسر من زاوية معدنية 8 × 8 × 0.6 سم أو ما يكافئها. بطول لا يقل عن 5.5 م.

ويجب أن تكون مستندة إلى مساند تبعد 2.4 م على الأقل عن طرف صفيحة التحميل الدائرية أو دولاب الشاحنة أو أي نقطة ارتكاز، ويجب حماية أجهزة قياس التشوه كافة من أشعة الشمس المباشرة.

ـ أجهزة مختلفة:

أدوات تجهيز سطح التجربة وأدوات تشغيل الأجهزة المستخدمة.

4.14.1 مراحل التنفيذ: Experimental Steps

1 ـ توضع الصفيحة الفولاذية ذات القطر المعتمد بشكل مركزي وبدقة تحت المضخة الهيدروليكية. ثم توضع الصفيحة الكبيرة في مركز التحميل، وتوضع بقية الصفائح مركزياً، الأصغر فالأصغر. يمكن تسوية السطح تحت صفيحة التحميل الأولى بفرش رمل ناعم بدقة وباستخدام أقل كمية ممكنة لتأمين تحميل منتظم. لتحاشي تغير رطوبة السطح المدروس أثناء التجربة يجب تغطية السطح المدروس حول صفيحة التحميل لمسافة لا تقل عن 1.8م من محيط صفيحة التحميل بغطاء عازل للماء.

2 ـ يثبت عدد كافٍ من أجهزة القياس لتحديد التشوه الشاقولي للطبقات ما تحت صفيحة التحميل. عند استخدام جهازي قياس يوضعا بشكل متناظر قطرياً على طرفي صفيحة التحميل على أن يبعد كل منهما مسافة 25.4 مم عن محيط الصفيحة. وعند استخدام ثلاث أجهزة قياس يجب تثبيتها بحيث تشكل زاوية 120 درجة بين كل منهما. عند كل قراءة يجب أخذ وسطي القراءات وتسجيله.

3 ـ بعد تجهيز كافة المعدات، وتطبيق كافة الحمولات الأولية (المضخة، الصفائح.. الخ) تثبت صفيحة التحميل والمضخة الهيدروليكية بتطبيق وإزالة سريعين لحمولة كافية لتوليد تشوه لا يقل عن 0..25 ملم ولا يزيد عن 0.51 ملم. ومتابعة ذلك بمراقبة أجهزة القياس.

عندما يستقر مؤشر جهاز القياس بعد إزالة الحمولة، يجب تطبيق حمولة مقدارها نصف الحمولة السابقة ثم إزالتها. عندما تستقر مؤشرات ساعات القياس، يتم ضبط مؤشر كل ساعة على قيمة الصفر تماماً. ولكن بهذا الوضع يجب أن تكون أجهزة قياس التشوه مضغوط قليلاً.

4 ـ تطبق حمولة تعطي تشوه محدود قدرة (1) ملم. يضبط التوقيت، وتثبت الحمولة، حتى تصبح سرعة التشوه 0.03 ملم/ الدقيقة، أو أقل، لفترة زمنية قدرها ثلاث دقائق متتالية، ثم تحرر الحمولة.

نراقب التشوه المرتد حتى تصبح سرعة الارتداد 0.03 ملم/ دقيقة أو أقل، لفترة زمنية قدرها ثلاث دقائق متتالية. يلزم تطبيق الحمولة وتحريرها بالشكل السابق لستة مرات.

تسجل قراءات ساعات التشوه في نهاية كل دقيقة، وتسجل قراءات ساعات التشوه قبل تطبيق الحمولة وقبل إزالتهما في كل مرة.

5 ـ تزاد الحمولة للحصول على تشوه بحدود 5.1 ملم، ويتم إتباع نفس خطوات الفقرة (4.4.14.1).

6 ـ تزاد الحمولة للحصول على تشوه بحدود 10.2 ملم، ويتم إتباع نفس خطوات الفقرة (4.4.14.1)

7 ـ في جميع الحالات تكون نهاية القراءة لأي حالة تحميل أو إزالة تحميل عندما تصبح سرعة تشوه 0.03 ملم / دقيقة أو أقل لفترة زمنية قدرها ثلاث دقائق متتالية.

8 ـ يجب قياس درجة حرارة الجو وتسجيلها كل نصف ساعة من ميزان حرارة مثبت قريباً من صفيحة التحميل.

5.14.1 سجل التجربة: Test Sheet

بالإضافة إلى المعلومات المطلوب تسجيلها حسب الفقرات السابقة، (الحمولة، التشوه، الزمن، درجة الحرارة)، يضاف إلى سجل التجربة المعلومات التالية:

ـ التاريخ.

ـ زمن بدء ونهاية التجربة.

ـ قائمة بأسماء المساهمين في التجربة.

ـ حالة الطقس.

ـ أي خلل في تسلسل مراحل التجربة.

ـ أي ملاحظة غير اعتيادية في موقع التجربة.

ـ أي ملاحظة غير اعتيادية لوحظت خلال فترة التجربة.

6.14.1 حساب ورسم العلاقة بين الحمولة والتشوه:

1 ـ من كل مرحلة تحميل يجب تحديد التشوه الذي أصبحت سرعة التشوه عنده 0.03 ملم/ دقيقة ويسمى اصطلاحاً نقطة نهاية التشوه. يمكن تحديد نقطة نهاية التشوه بقراءة دقيقة لمعلومات التشوه لكل مرحلة تحميل.

2 ـ تقرأ قيمة الضغط المطبق في كل مرحلة تحميل على تدريجات أجهزة الضغط الموجودة على المضخة الهيدروليكية لتقارن مع جداول المعايرة، لأجهزة القياس والمضخة الهيدروليكية بعد ذلك.

3 ـ تحدد تخطيطياً نقط الصفر المصححة للحمولات المطبقة والتشوه المقاس. وذلك يتطلب الأخذ بالحسبان وزن المضخة الهيدروليكية وصفائح التحميل وغيرها والتصفير المبدئي لساعات القياس عند بدء التجربة.

4 ـ يرسم التشوه المصحح الذي يكون عنده سرعة التشوه مساويةً 0.03 ملم/ دقيقة وعلى المحور المقابل عدد مرات تكرار كل حمولة مصححة. ويمكن رسم أشكال مماثلة للتشوه المتبقي المصحح والتشوه المرتد ترسم مقابل عدد مرات تكرار كل حمولة مصححة.